

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DA FACTIBILIDADE DA ESTRUTURA
BODY IN WHITE NA EMPRESA FIAT
CHRYSLER AUTOMOBILES**

Thiago Borges Bouabci Gurgel do Carmo

São Paulo
2017

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DA FACTIBILIDADE DA ESTRUTURA
BODY IN WHITE NA EMPRESA FIAT
CHRYSLER AUTOMOBILES**

Thiago Borges Bouabci Gurgel do Carmo

Trabalho de formatura apresentado ao
Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do título de
Graduação em Engenharia Mecânica

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo
2017

Catlogação-na-publicação

Carmo, Thiago

ANÁLISE DA FACTIBILIDADE DA ESTRUTURA BODY IN WHITE NA
EMPRESA FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES / T. Carmo -- São Paulo, 2017.
63 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Metodologia do processo de verificação na Fiat Chrysler Automobiles
2. Soldagem a ponto e montagem das partes móveis I. Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

RESUMO

Como uma resposta para a crescente competitividade entre as indústrias automobilísticas, novas metodologias vem sendo adotadas com o objetivo de elevar a eficiência da linha de montagem. Principalmente nos setores mais críticos dessa, como a estação de funilaria onde a estrutura é composta, afetando as características finais de rigidez mecânica, vibração, ruído e estética do veículo. Sendo que dentre as metodologias, pode-se afirmar que a mais atrativa e de maior investimento é o processamento de dados por meio da simulação virtual. Mais especificamente, através do uso de softwares de Gerenciamento da Vida do Produto (PLM, sigla em inglês), responsáveis pela verificação da factibilidade do projeto proposto. No caso da tese, o foco está centrado na verificação, com o auxílio da simulação virtual, dos requisitos de projeto nas duas principais atividades que ocorrem na área da funilaria. A formação da estrutura Body in White (termo comum usado na indústria automotiva para referir-se a estrutura do veículo na etapa da estação da funilaria) por meio do seu principal processo de união dos componentes, a soldagem a ponto. E, a montagem das partes móveis do veículo; com o enfoque no posicionamento e fixação das portas, as quais são o ponto crítico do processo e, consequentemente, o fator mais abordado pela literatura. Sendo que todo o estudo baseia-se em um estudo de caso real realizado na Fiat Chrysler Automobiles para o modelo Jeep Renegade.

ABSTRACT

As a response to the increasing competitiveness among the automotive industries, new methodologies have been adopted in order to enhance the manufacturing process efficiency. Mainly, in the most critical sectors, as the Body Shop, where the vehicle structure is constructed, being responsible for the final characteristics over the vehicle stiffness, vibration, noise and esthetics. Among the new methodologies to pursue this objective, one might say that the one in the spot light is the data processing by means of virtual simulation. More specifically, the use of Product Life Cycle Management (PLM) softwares, responsible for verifying the project's feasibility. In this thesis, the focus regards the verification of the project requirements, with the help of the virtual simulation, for the two main process that take place at the Body Shop. The construction of the Body in White structure (term used in the automotive industry to refer to the vehicle structure at the Body Shop) by the most used process for the parts joining in this phase, the spot welding operation. And, the panel line process; with a focus on the door assembly operation, which is the most critical point and the most discussed in this area. Being those procedures based on a real case study developed at the Fiat Chrysler Automobiles for the Jeep Renegade model.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio ao longo da minha vida.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Definição de simulação virtual	1
1.2	Simulação virtual e os seus principais usos	2
1.3	Simulação virtual aplicada na Fiat Chrysler Automobiles	2
1.3.1	Os principais tipos de estruturas	4
2	VERIFICAÇÃO VIRTUAL APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	8
2.1	A verificação virtual no cronograma da indústria automobilística	9
2.2	Planilha Árvore de Armação	10
2.3	Team Center Visualization Mockup	11
2.4	Process Simulate	12
2.5	Robocad	12
3	APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO VIRTUAL NA ESTRUTURA BIW	17
3.1	O processo de formação da estrutura BIW	18
3.2	O processo de soldagem a ponto na estrutura BIW	19
3.3	Metodologia do processo de verificação virtual da estrutura BIW	20
3.3.1	Conceito de "Green Field" e "Brown Field" na indústria	22
4	APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO VIRTUAL NA MONTAGEM DAS PARTES MÓVEIS	23
4.1	Metodologia da montagem das partes móveis na linha de montagem	24
4.2	Metodologia da simulação virtual aplicada na montagem das partes móveis	25
5	RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO VIRTUAL DE SOLDAGEM A PONTO	26
5.1	Terminologia	26
5.2	Processo de soldagem a ponto primeiro caso	26
5.2.1	Análise da pinça de solda para o primeiro caso	27
5.3	Processo de soldagem a ponto segundo caso	29
5.4	Análise da pinça de solda para o segundo caso	31
5.5	Processo de soldagem a ponto terceiro caso	32

6	RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO VIRTUAL PARA A MONTAGEM DAS PORTAS TRASEIRA E DIANTEIRA	49
6.1	Análise da montagem das dobradiças	49
6.2	Montagem das portas traseiras e dianteiras	51
6.3	Montagem automática das portas	54
6.4	Análise da acessibilidade na operação de fixação	56
7	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59

Apêndice

A	PLANILHA ÁRVORE DE ARMAÇÃO: ESTUDO DE CASO	61
---	--	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.2.1–Principais áreas que utilizam simulação virtual. Adaptado de (1)	2
Figura 1.3.1–Fluxogramas de atividades até a estrutura BIW. Adaptado de (2) . . .	4
Figura 1.3.2–Estrutura ”Body-on-Frame”. Adaptado de (3)	5
Figura 1.3.3–Estrutura ”Dual Frame” modelo Lancia Lambda. Adaptado de (4) . . .	6
Figura 1.3.4–Estrutura Monocoque do Alfa Romeo 4C. Adaptado de (4)	6
Figura 1.3.5–Estrutura Monobloco de um Jeep Renegade.	7
Figura 2.0.1–Fluxo de informações entre a Engenharia de Projeto e o setor de verificação virtual.	8
Figura 2.1.1–Estudo qualitativo do custo projetado quando a simulação virtual está fora do cronograma. Adaptado de (5)	9
Figura 2.2.1–Exemplo de Planilha Árvore de Armação usada na FCA.	10
Figura 2.3.1–Exemplo de verificação com o auxílio do Teamcenter Visualization Mockup.	14
Figura 2.4.1–Exemplo de verificação com o auxílio do Process Simulate. Reprodução de (6)	15
Figura 2.5.1–Simulação da soldagem a ponto em uma estação de trabalho com o auxílio do software Robocad. Reprodução de (7)	16
Figura 3.0.1–Fluxo de operações em uma indústria automobilística. Reprodução de (8)	17
Figura 3.2.1–Representação de um processo de soldagem a ponto. Reprodução de (8)	19
Figura 3.2.2–Regras para espessura equivalente usadas na FCA. Reprodução de (9) .	20
Figura 3.3.1–Fluxo de informações na metodologia da simulação virtual da estrutura BIW.	21
Figura 4.1.1–Sequência de montagem das partes móveis.	24
Figura 5.0.1–Linha de produção do Jeep Renegade na fábrica de Melfi. Reprodução de (10)	26
Figura 5.2.1–Relatório de operação para o assoalho traseiro.	28
Figura 5.2.2–Resultados dos pontos de solda do assoalho traseiro obtidos com o Teamcenter Visualization Mockup.	34
Figura 5.2.3–Pinças de solda avaliadas para o primeiro caso.	35
Figura 5.2.4–Colisão da pinça ”Pinça 01”.	36
Figura 5.2.5–Colisão da ”Pinça 06”.	37
Figura 5.2.6–Colisão da pinça ”Pinça 07”.	37
Figura 5.3.1–Resultado da soldagem para o ponto 42 referente a união do assoalho dianteiro com o túnel.	38

Figura 5.3.2–Resultado da soldagem para o ponto 12 referente a união do assoalho dianteiro com o túnel.	39
Figura 5.4.1–Pinças de solda avaliadas para o segundo caso: "Pinça 05", "Pinça 03" e "Pinça 04".	40
Figura 5.4.2–Pinças de solda avaliadas para o segundo caso: "Pinça 06" e "Pinça 07".	41
Figura 5.4.3–Pinças de solda para o segundo caso: "Pinça 04" e "Pinça 05".	42
Figura 5.4.4–Pinças de solda para o segundo caso em operação: "Pinça 06" e "Pinça 07"	43
Figura 5.5.1–Estação de trabalho na qual foi feita a simulação virtual da operação de soldagem a ponto.	44
Figura 5.5.2–Vista superior da estação ST 70 identificando as partes soldadas. . . .	45
Figura 5.5.3–Simulação da operação de soldagem a ponto na ST 70 sem as estruturas de fixação.	45
Figura 5.5.4–Comparação da operação real com a simulação da operação de soldagem a ponto na ST 70.	46
Figura 5.5.5–Fluxo de etapas da análise de um projeto em uma indústria automomo- bilística. Reprodução de (9)	46
Figura 5.5.6–Problema de folga avaliado na operação de soldagem a ponto no estudo de caso 3.	47
Figura 5.5.7–Problema de folga e de superposição de chapas avaliado na operação de soldagem a ponto no estudo de caso 3.	48
Figura 6.1.1–Descrição das referências usadas na dobradiça das portas.	50
Figura 6.1.2–Descrição das referências usadas para o posicionamento da estrutura fixadora das dobradiças.	50
Figura 6.1.3–Operação de estabelecimento das dobradiças das portas na estrutura do veículo.	51
Figura 6.2.1–Referências na porta traseira para a estrutura fixadora.	51
Figura 6.2.2–Operação de posicionamento da porta traseira.	52
Figura 6.2.3–Análise da seção do Jeep Renegade para a folga entre a porta traseira e a estrutura.	53
Figura 6.2.4–Operação de montagem da porta traseira com o espaçador em destaque.	53
Figura 6.2.5–Análise da posição relativa da porta dianteira com a porta traseira em uma seção específica.	54
Figura 6.2.6–Espaçador entre a porta dianteira e traseira.	54
Figura 6.3.1–Etapa de fixação das dobradiças na porta.	55
Figura 6.3.2–Sistema de referência para os sensores de distância da estrutura fixadora do Fiat Panda.	55
Figura 6.3.3–Fixação das portas com as dobradiças na porta sem a estrutura eviden- ciada.	56

Figura 6.4.1–Verificação da factibilidade da fixação da porta traseira com a chave de fenda elétrica Bosch Rexroth ESA065S	57
Figura 6.4.2–Verificação da factibilidade da fixação da porta dianteira com a chave de fenda elétrica Bosch Rexroth ESA065S	57
Figura A.0.1Relatório da Planilha Árvore de Armação do túnel.	61
Figura A.0.2Posicionamento das porcas na estrutura.	62
Figura A.0.3Posicionamento dos parafusos na estrutura.	62
Figura A.0.4Último passo da estrutura do túnel.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Terminologia	27
Tabela 2 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho traseiro	28
Tabela 3 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície direita.	30
Tabela 4 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície esquerda.	30
Tabela 5 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície superior.	31
Tabela 6 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície superior	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AME	<i>Advanced Manufacturing Engineering</i>
BIW	<i>Body in White</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
FCA	<i>Fiat Chrysler Automobiles</i>
HAZ	<i>Heat Affected Zone</i>
HDM	<i>Head Mounted Display</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>

1 INTRODUÇÃO

O trabalho de formatura desenvolvido tem como principal objetivo discutir as etapas precedentes da manufatura do veículo em uma montadora como a Fiat Chrysler Automobiles (FCA). Mais especificamente, a verificação do projeto em termos da estrutura Body in White (BIW) nos quesitos de soldagem e em termos da etapa de montagem das partes móveis. Contudo antes de abranger esses tópicos em detalhes, para uma melhor compreensão, a questão dos softwares de simulação virtual e da metodologia empregada em uma multinacional de veículos serão abordados primeiramente. Tanto os aspectos gerais da verificação por meio de simulações virtuais, assim como o desenvolvimento histórico. Focando como essa ferramenta é essencial para uma indústria automobilística e os esforços dessa na área de inovação para se tornar cada vez mais eficiente, e, conseqüentemente, mais competitiva.

1.1 Definição de simulação virtual

A simulação virtual consiste em simulações executadas por uma máquina que compreendem a posição do usuário e suas ações e substitui esses por um ambiente virtual o mais próximo possível de um ambiente real para a interação do usuário. Sendo que essa pode assumir diferentes níveis de imersão, usualmente, dividida em três níveis: não imersível, semi imersível e totalmente imersível (11).

Em um nível não imersível, o usuário interage com um monitor de alta resolução por meio de mouses, teclados e joysticks, proporcionando assim um alto nível de resolução do estudo de caso ao mesmo tempo de um custo tecnológico baixo, contudo com um senso de imersão nulo. E por conta dessas características, esse tipo de simulação virtual é o mais utilizado na indústria automobilística (11).

Já para um nível semi imersível, além das ferramentas citadas no parágrafo anterior, o usuário tem a sua disposição, luvas com sensores e múltiplos sistemas de projeção. Permitindo um senso de imersão maior ao custo mais elevado que o tipo anterior mencionado (11).

O tipo de imersão com maior grau de sofisticação (totalmente imersível) utiliza sistemas de sensores e projeção consideravelmente mais complexos. Na parte de sensores, pode-se citar, por exemplo, luvas e comando de voz. Enquanto que na parte de projeção dispositivos como o HMD. Apesar do significativo nível de imersão virtual, a resolução é baixa e os custos elevados, se comparados as outras duas categorias (11).

1.2 Simulação virtual e os seus principais usos

Apesar do conceito de simulação virtual estar conectado a criação de um ambiente gráfico, a sua utilização vai muito além disso. Por ser uma tecnologia que envolve uma série de comunicação de dados e verificações, muitas áreas começaram a aplicar esse tipo de ferramenta de forma a aumentar a eficiência das suas respectivas atividades. Por exemplo, um dos campos mais relevantes para a sociedade, a medicina vem adotando essa tecnologia cada vez mais. Principalmente, com foco no desenvolvimento e atualização das habilidades dos profissionais da área em um ambiente livre de riscos para o paciente (1).

Além desse campo, outros se beneficiam do uso de simulações virtuais de forma a melhorar os resultados, com um custo menor e com um menor tempo gasto. Áreas como educação, militar, entreterimento, engenharia e outros. Sendo a engenharia um setor de peso nesse quesito, mais especificamente, do lado corporativo, o segundo em termos de mercado segundo projeções (1). E, também, o principal foco de estudo do trabalho desenvolvido nesta tese.

O potencial da realidade virtual em diversas aplicações

Tamanho do mercado previsto de realidade virtual em 2025

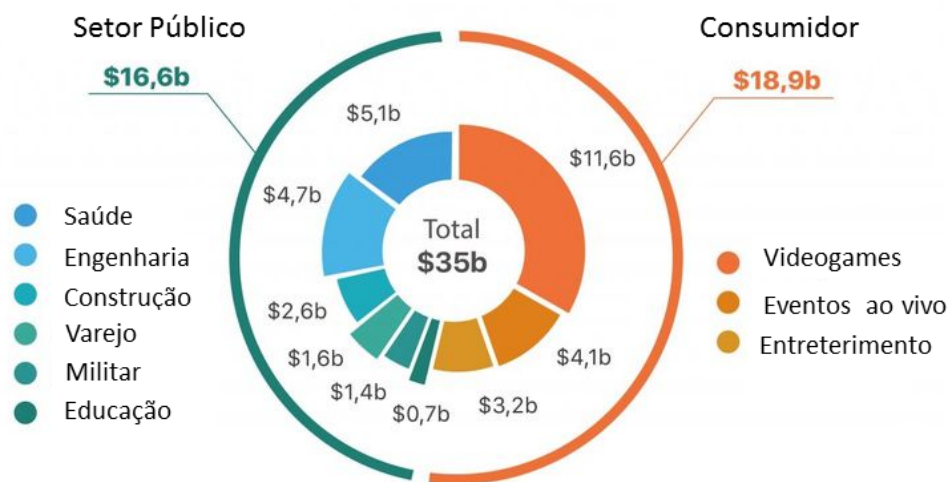


Figura 1.2.1 – Principais áreas que utilizam simulação virtual. Adaptado de (1)

1.3 Simulação virtual aplicada na Fiat Chrysler Automobiles

O uso de simulações virtuais em uma indústria automobilística como a FCA envolve uma série de atividades entre diferentes áreas dentro da empresa de forma a corresponder aos

requisitos de tempo, custo, qualidade, e, outros para a montadora se manter competitiva no mercado. Entre as atividades mais relevantes, pode-se mencionar as seguintes:

- Estampagem

Em uma operação de estampagem um blank de metal é submetido a uma prensa junto com uma ferramenta, de forma a sofrer a deformação necessária para atingir a geometria desejada. E, é de responsabilidade da simulação virtual com base no método dos elementos finitos de prever possíveis problemas resultantes do processo. Por exemplo, fraturas, concentradores de tensão, estrição, enrugamentos e outros (12). Além do controle da qualidade da peça, o uso de simulações virtuais buscam otimizar o processo. Ainda mais que na indústria automobilística o processo de estampagem varia consideravelmente de projeto para projeto, e, as mudanças necessárias conseguem ser interpretadas facilmente por meio do tratamento correto no software. Contudo, cabe mencionar também que tal abordagem não é isenta de falhas. O controle virtual pode deixar de levar em conta as corretas condições de contorno, as magnitudes reais das forças de fricção, a força do suporte do blank, as diferenças entre a ferramenta real e a ferramenta da data base e outros fatores (13).

- Montagem

A montagem, união de duas peças ou mais na correta sequência, consiste em uma das áreas na indústria automobilística de maior dificuldade de ser tratada pela simulação virtual, dado ao nível significativo de interação humana no processo. O software de simulação virtual junto com a data base de CAD possui como função representar o papel desempenhado pelo operador humano assim como os limites de contorno do processo, a ergonomia exigida, as trajetórias das peças e a detecção de pontos de colisão. No caso da FCA, a atividade de montagem é verificada por um software PLM chamado Team Center Visualization Mockup o qual será melhor detalhado mais adiante nesse trabalho (14).

- Manufatura Digital

A manufatura digital é um recurso essencial para a indústria automobilística. Essa ferramenta virtual tem como papel representar todos os estágios a serem executados na planta, desde o layout da fábrica e fluxo de peças até a trajetória do braço do robô durante as atividades de montagem, soldagem e pintura. Fornecendo assim ao usuário uma visão abrangente do processo completo de fabricação do veículo e os possíveis pontos de melhoria. Cabe também mencionar que cada operação estudada pela manufatura digital possui seu próprio intervalo de tempo, sendo que os inputs são provenientes das atividades anteriores. Portanto, o fluxo de informação precisa ser executado de maneira concisa e detalhada respeitando as condições de

contorno. Evitando com isso imprevistos que podem comprometer o projeto do veículo, especialmente em termos de custo (15).

- Body in White

Um dos pontos mais críticos de um projeto na indústria automobilística é a estrutura de Body in White. E, portanto, o uso de softwares de verificação é essencial para o controle de qualidade da estrutura. O termo Body in White refere-se a estrutura do veículo antes da montagem das partes móveis (portas, capô e porta-malas), eletrônicos, assentos, vidros, motor e outras partes. É um estágio em que a estrutura é formada principalmente pela soldagem das partes, compondo ao mesmo tempo a geometria para receber os vidros portas, motor e outros componentes. Além disso essa estrutura é de extrema importância dado que essa é diretamente responsável pelas propriedades mecânicas do carro, ruído, vibrações e deformabilidade (16).

1.3.1 Os principais tipos de estruturas

Sendo o principal foco de estudo da tese desenvolvida, a estrutura de Body in White e as operações que precedem e procedem dessa, é necessário um maior grau de detalhamento nesse quesito tanto em termos dos principais tipos de estrutura na indústria automotiva, assim como onde se encontra essa etapa no fluxograma de atividades.

Na Figura 1.3.1 , está exemplificado as etapas até a formação da estrutura Body in White. Desde o blank, passando pelo processo de estampagem até sub partes que por meio do processo de soldagem formarão a estrutura final de BIW. Após isso, a estrutura segue para a montagem das partes móveis, um outro ponto de estudo do trabalho.

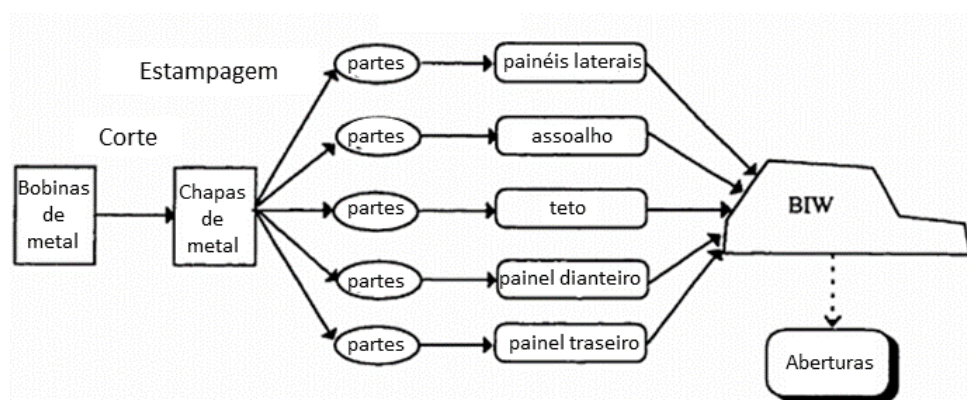


Figura 1.3.1 – Fluxogramas de atividades até a estrutura BIW. Adaptado de (2)

Em termos das estruturas mais comuns pode-se mencionar as seguintes:

1. "Body-on-Frame";
2. "Dual Frame";

3. Monocoque;
4. Monobloco.

A estrutura "Body-on-Frame" (Figura 1.3.2) pode ser considerada a mais antiga. Esta consiste de duas travas em paralelo nas quais a suspensão e o power train são conectados. Além disso, o resto da estrutura do veículo final está conectada nessas partes. Hoje em dia essa estrutura é usada somente em caminhões e alguns SUVs devido ao seu peso. As desvantagens dessa estrutura estão relacionadas à falta de uma rigidez torsional adequada e à baixa capacidade de deformação em situações de impacto. Entretanto, essa estrutura oferece em contrapartida como vantagens uma grande capacidade de sustentar grandes cargas, o que motiva o seu uso em caminhões (3).

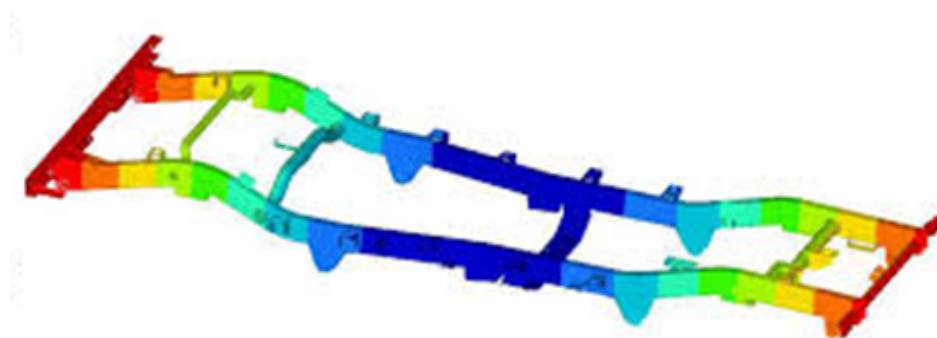


Figura 1.3.2 – Estrutura "Body-on-Frame". Adaptado de (3)

Quanto a estrutura "Dual Frame", essa foi desenvolvida pela Fiat (Figura 1.3.3). O seu objetivo consiste em oferecer uma boa capacidade de deformação ao mesmo tempo de conseguir sustentar pesos consideráveis. Entretanto essa está presente somente em um nicho de mercado. Usualmente produções de baixo volume e, portanto, impõe como dificuldade o retorno do investimento de capital feito (4).

Em resposta ao peso excessivo da estrutura "Body-on-Frame", e, ao baixo volume de produção da estrutura Dual Frame, desenvolveu-se a estrutura Monocoque (Figura 1.3.4). Caracterizada por ser uma estrutura formada de uma composição apenas, cujo elemento principal é a base na qual todos os elementos estruturais estão conectados. Como o monocoque possui uma geometria para suportar cargas significantes, essa estrutura apresenta uma ótima performance em situações de colisão. Entretanto, o Monocoque é relativamente pesado se comparado ao Dual Frame e possui uma baixa razão de rigidez em relação ao peso, dado que a prioridade da estrutura é o espaço interno e não a rigidez (3).

Como consequência desses fatores, uma grande quantidade de tipos de carros atuais que usam a estrutura Monobloco (Figura 1.3.5). Essa é baseada em seções tubulares, anteparos e seções de formatos diversos de forma a oferecer a rigidez desejável ao veículo. O design em comparação ao Monocoque apresenta uma redução substancial em termos

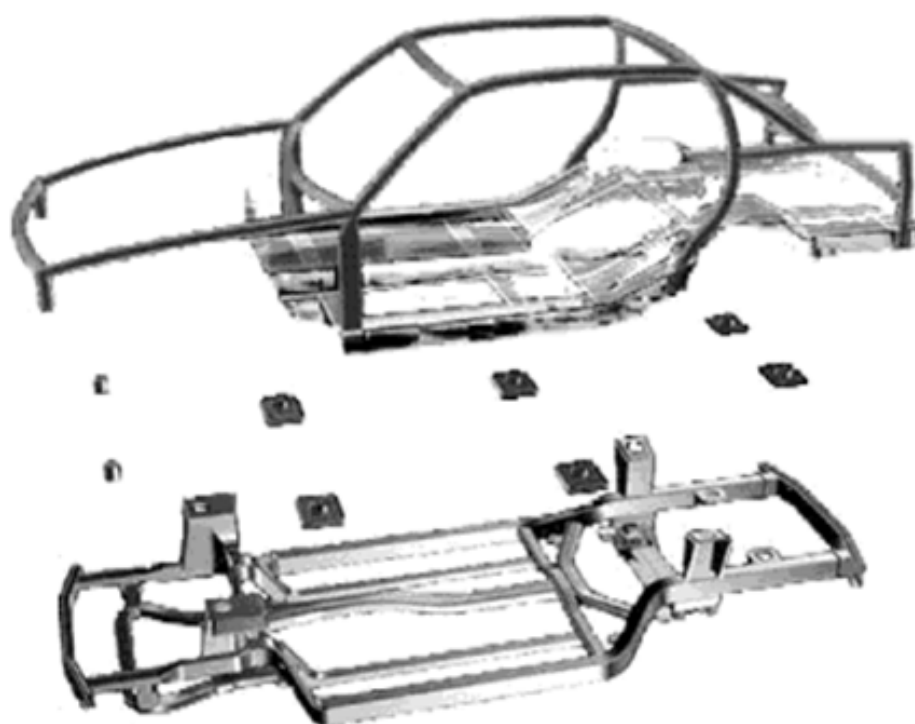


Figura 1.3.3 – Estrutura "Dual Frame" modelo Lancia Lambda. Adaptado de (4)



Figura 1.3.4 – Estrutura Monocoque do Alfa Romeo 4C. Adaptado de (4)

de peso, e, ao mesmo tempo, respeitando o espaço interno. Um outro ponto de melhoria desse design refere-se ao requisitos de segurança. Uma vez que a estrutura disponibiliza a inserção de zonas deformáveis. Apenas como um dado representativo dessa melhoria, a energia de absorção se comparada ao outros tipos de estrutura é o maior. Cabe também ressaltar nesse ponto que a estrutura Monobloco por ser a mais utilizada e a mais complexa, será usada como estudo de caso mais adiante (3).

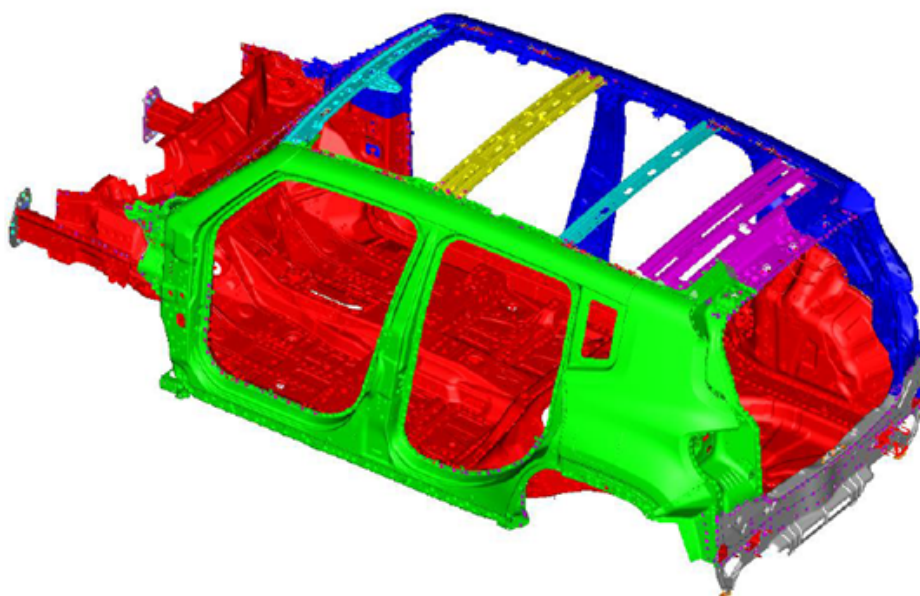


Figura 1.3.5 – Estrutura Monobloco de um Jeep Renegade.

2 VERIFICAÇÃO VIRTUAL APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

A simulação virtual com o intuito de verificação de projeto em um indústria automobilística como a FCA não se constitui como uma atividade independente que é executada apenas uma vez. Na realidade, essa é uma operação caracterizada pelas várias iterações e intersecções com o setor de Engenharia de Projeto. Portanto, quanto melhor o fluxo de informações entre essas duas áreas, mais próximo a indústria estará de um desenvolvimento de um produto ótimo.



Figura 2.0.1 – Fluxo de informações entre a Engenharia de Projeto e o setor de verificação virtual.

Na Figura 2.0.1, está exemplificado uma visão abrangente de como o fluxo de informações se comporta para o projeto de um veículo na indústria entre o setores mencionados no parágrafo anterior. O setor de Engenharia de Projeto é responsável pelo desenvolvimento do projeto de CAD do veículo assim como também pela elaboração da Planilha Árvore de Armação (BOM, sigla em inglês). Com esses dois documentos, um setor inteiro, no caso da FCA denominado "Advanced Manufacturing Engineering Product", executa a verificação virtual, e, se necessário aponta as modificações necessárias a serem feitas pela Engenharia de Projeto. Com o objetivo de detalhar como esse fluxo de dados entre áreas é tratado, nesse capítulo, serão apresentadas as ferramentas usadas dentro da FCA.

2.1 A verificação virtual no cronograma da indústria automobilística

Na indústria automobilística, como foi comentado a verificação do projeto, ocorre por meio da simulação virtual devido ao seu grande benefício em termos de tempo e custo. Contudo tal processo como os vários outros na linha de montagem, possui uma diferença entre o ideal e o de fato praticado. Sendo o fator mais significativo nessa diferença, o tempo. Mais especificamente, o tempo entre as iterações entre o setor responsável pela simulação virtual do projeto e o setor de Engenharia de Projeto, para o qual são propostas as mudanças. Sendo que esse atraso pode se dar por conta dos seguintes pontos (5):

- A entrega do projeto para a equipe de verificação depois do tempo previsto;
- As mudanças propostas após a simulação virtual são numerosas ou complexas;
- Falta de uma comunicação eficiente as entre áreas, gerando um atraso na iterações das mudanças necessárias.

Na Figura 2.1.1 está ilustrada uma demonstração qualitativa de quão prejudicial em termos de custo de projeto é o atraso na etapa de simulação virtual. Como é possível analisar, quanto mais tarde a mudança é realizada no cronograma do projeto, maior será o custo projetado para esse.

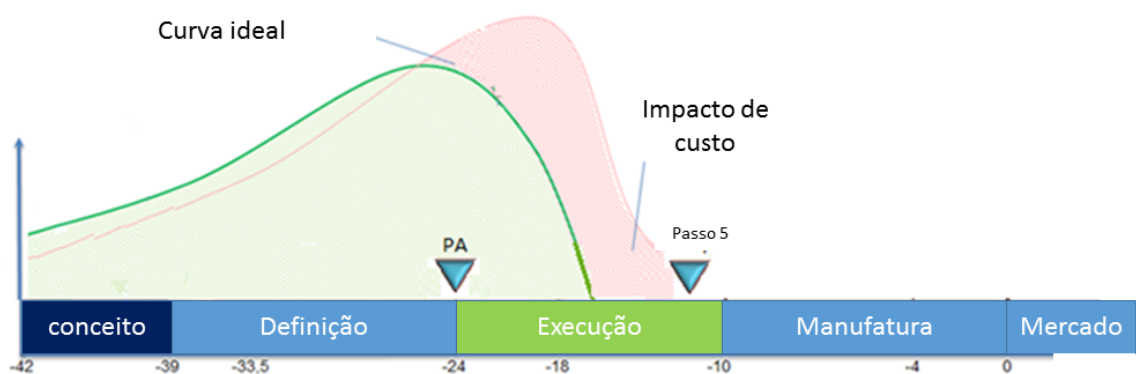


Figura 2.1.1 – Estudo qualitativo do custo projetado quando a simulação virtual está fora do cronograma. Adaptado de (5)

Além disso, na Figura 2.1.1 fica também evidenciado em qual etapa a simulação virtual ocorre. No caso entre a aprovação do projeto (PA, sigla em inglês) e a etapa cinco (na figura, "Step 5"); na parte de execução, na qual o projeto é reformulado várias vezes até chegar o momento da manufatura no cronograma. E após isso, a entrada do produto

no mercado. Antes da etapa de simulação virtual, ocorrem dois grandes processos no cronograma. A etapa do desenvolvimento do conceito do produto, e, com a finalização dessa, a etapa de definição do projeto; principal dado de entrada para a realização da simulação virtual.

2.2 Planilha Árvore de Armação

O desenho do projeto em CAD e a Planilha Árvore de Armação constituem o principal fluxo de dados entre a equipe de desenvolvimento e a de a equipe de verificação. O desenho de CAD serve como base para os softwares de análise que serão abordados mais adiante nesse capítulo. Já a planilha tem como objetivo central fornecer a sequência de montagem dos componentes e as operações necessárias para isso.

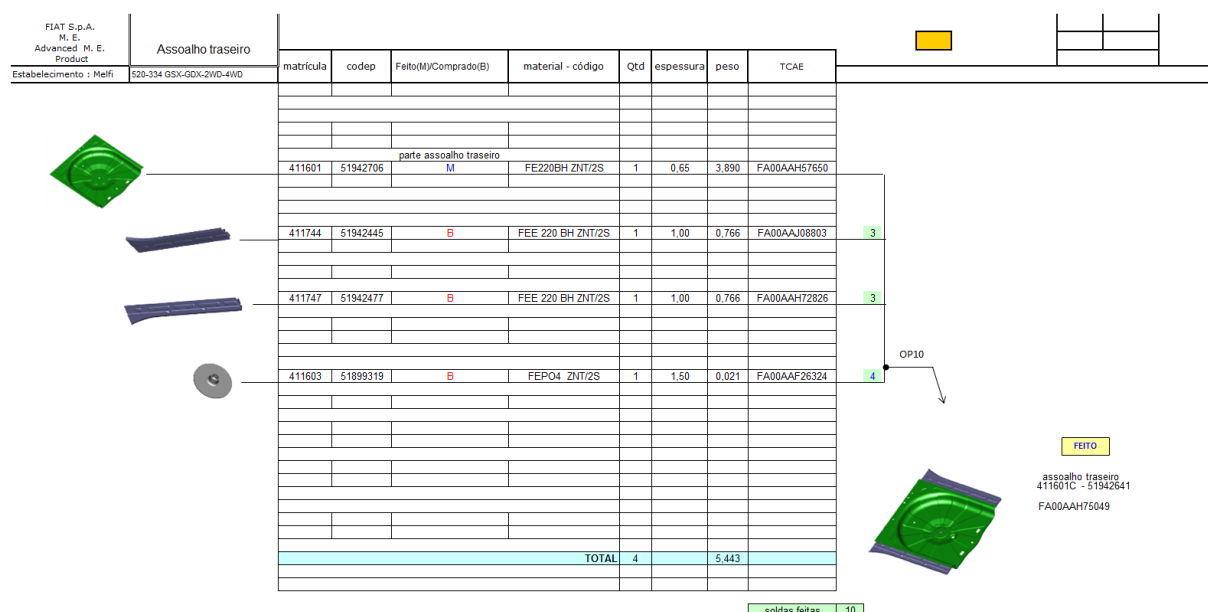


Figura 2.2.1 – Exemplo de Planilha Árvore de Armação usada na FCA.

Na Figura 2.2.1, a sequência de montagem das peças está ilustrada na parte direita do relatório por meio das linhas, nós e identificadores de operação de forma a proporcionar de uma maneira esquematizada a correta ordem para prosseguir de acordo os requisitos estabelecidos. Cabe mencionar nesse ponto que o relatório reúne mais do que a sequência em si da montagem.

Cada peça é referenciada por três números, o número de "matrícula", o "codep" e o número "TCAE". Os dois primeiros são números de identificação usados entre a empresa e o fornecedor. Já o "TCAE" possui um papel diferente. Essa identificação alfanumérica reconhece não só um objeto, mas também o componente gerado após a montagem em uma específica posição no espaço do projeto CAD do veículo. Portanto, uma peça sempre terá um número "TCAE" diferente, entretanto essa terá sempre o mesmo número de "Matrícula" e "codep".

Além das informações de sequência de montagem e identificação da peça, a planilha distingue se a peça é produzida internamente ("M") ou se é feita externamente por um fornecedor ("B"), o peso da peça e espessura da peça. Sendo a última informação essencial para análise de soldagem que será abordada nos capítulos seguintes. Quanto ao processo soldagem, o relatório também proporciona o número de pontos de solda a serem realizados. Com essa informação é possível estimar o número de robôs necessários para cada operação. Pois cada operação precisa ser realizada em um determinado intervalo de tempo e cada robô possui uma velocidade média para realizar um ponto de solda.

No Apêndice A, está desenvolvido um estudo de caso para esse relatório, representando o passo a passo feito em uma análise de sequência de montagem.

2.3 Team Center Visualization Mockup

Em uma indústria automobilística, para a equipe responsável pela factibilidade da estrutura BIW do veículo, usa-se um sistema de Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM, sigla em inglês). Uma integração dos sistemas CAD e CAM com processos pelos quais o produto precisa passar, sendo esses (17):

- Concepção;
- Design;
- Realização;
- Serviço.

Contudo, diferentemente do sistema PLM, o software de PLM concentra-se apenas na etapa de Design. Nessa, o software é responsável por gerar em detalhes o design do produto, assim como a validação e análise com várias iterações com a equipe de Engenharia de Projeto. Além disso, esse é responsável pela análise da conformidade da ferramenta com o processo, e, se for o caso propor uma nova mais adequada para o mesmo(17).

No caso do grupo FCA, o software de PLM usado denomina-se Teamcenter Visualization Mockup, realizado pela Siemens. As principais vantagens de usar tal ferramenta para verificações de projeto são:

- Permite a visualização e análise de geometrias complexas de CAD;
- Análise estática e dinâmica do componente;
- Filtros avançados de controle para selecionar partes específicas e o seus atributos;
- Permite a captura de conjunturas durante processos dinâmicos.

Apenas para uma demonstração da importância dessa ferramenta, na Figura 2.3.1, está ilustrado a verificação durante um processo de soldagem da estrutura BIW. Mais adiante tal análise será abordada em maiores detalhes.

2.4 Process Simulate

A factibilidade do processo de soldagem a ponto, a operação mais executada na estrutura de BIW, comentada na seção anterior com a ajuda do software Teamcenter Visualization Mockup está relacionada com as coordenadas do ponto de solda, e, se essas respeitam as normas estabelecidas pelo grupo FCA. Entretanto, para analisar a factibilidade do projeto como um todo, usa-se uma outra abordagem. Um outro software de PLM, Process Simulate, com foco em outras variáveis do processo. Esse possui a capacidade de fornecer um ambiente 3D dinâmico, no qual facilmente pode-se analisar não só a interação dos robôs com o processo, mas também a interação do operador humano (Figura 2.4.1). Devido a essas características, pode-se afirmar que o Process Simulate constitui-se como um ponto de melhoria do Teamcenter Visualization Mockup. E, portanto, pode-se esperar o seu uso de forma mais frequente no futuro. Contudo, ainda há obstáculos a serem superados para isso, devido a complexidade do software para os usuários (18).

As características e vantagens do Process Simulate estão descritas abaixo, dando a dimensão das ferramentas que essa disponibiliza ao usuário:

- Análise da geometria do robô e do caminho percorrido durante a operação;
- Análise do percurso realizado pelo braço do robô de solda e verificação de possíveis pontos de colisão;
- Estudo da ergonomia do operador durante a atividade a ser executada;
- Simulação dinâmica de operadores humanos em atividade;
- Simulações de tempo real da atividade.

2.5 Robocad

O Robocad constitui um outro software PLM desenvolvido pela Siemens. Com as mesmas características dos outros dois mencionados antes (Teamcenter Visualization Mockup e Process Simulate), mas com uma grande variedade de ferramentas a mais que tornam esse consideravelmente mais complexo. Entretanto, por conta dessa característica e também por conta do seu alto custo, o seu uso não é tão difundido.

O Robocad proporciona a simulação, otimização e análise do processo de manufatura tanto como um todo. Com isso, o usuário é capaz de analisar o ciclo do produto, estações de trabalho e a interação dessas com o restante da linha de montagem, reduzindo assim o custo do projeto e o tempo necessário para desenvolver o projeto do produto (19).

- Planejamento automático do caminho do robô: Robocad é capaz de gerar um percurso ótimo livre de colisões para os processos automatizados;
- Calibração e posicionamento do robô de forma automática;
- Soldagem a ponto: Robocad não só oferece a possibilidade de checar fatores críticos como as limitações de espaço e ferramentas de solda adequadas para o processo, mas também disponibiliza o percurso ótimo e o posicionamento ótimo de cada robô durante o processo no momento da simulação sem a interrupção da mesma (Figura 2.5.1);
- Proporciona um processo ótimo para a soldagem a arco por meio do percurso e ferramenta otimizadas;
- Disponibiliza a otimização da linha como um todo analisando como cada estação de trabalho interage com a outra.

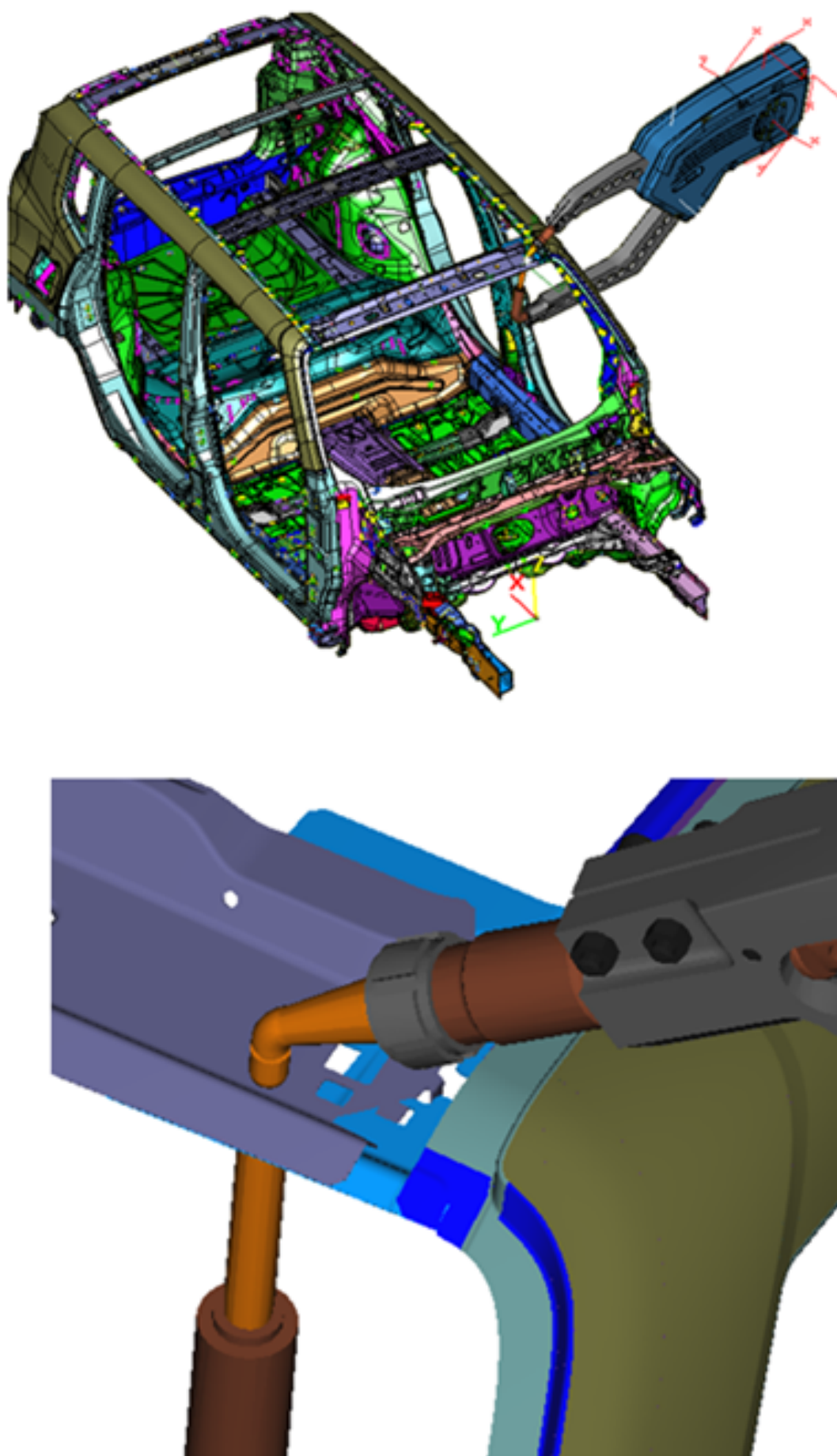


Figura 2.3.1 – Exemplo de verificação com o auxílio do Teamcenter Visualization Mockup.

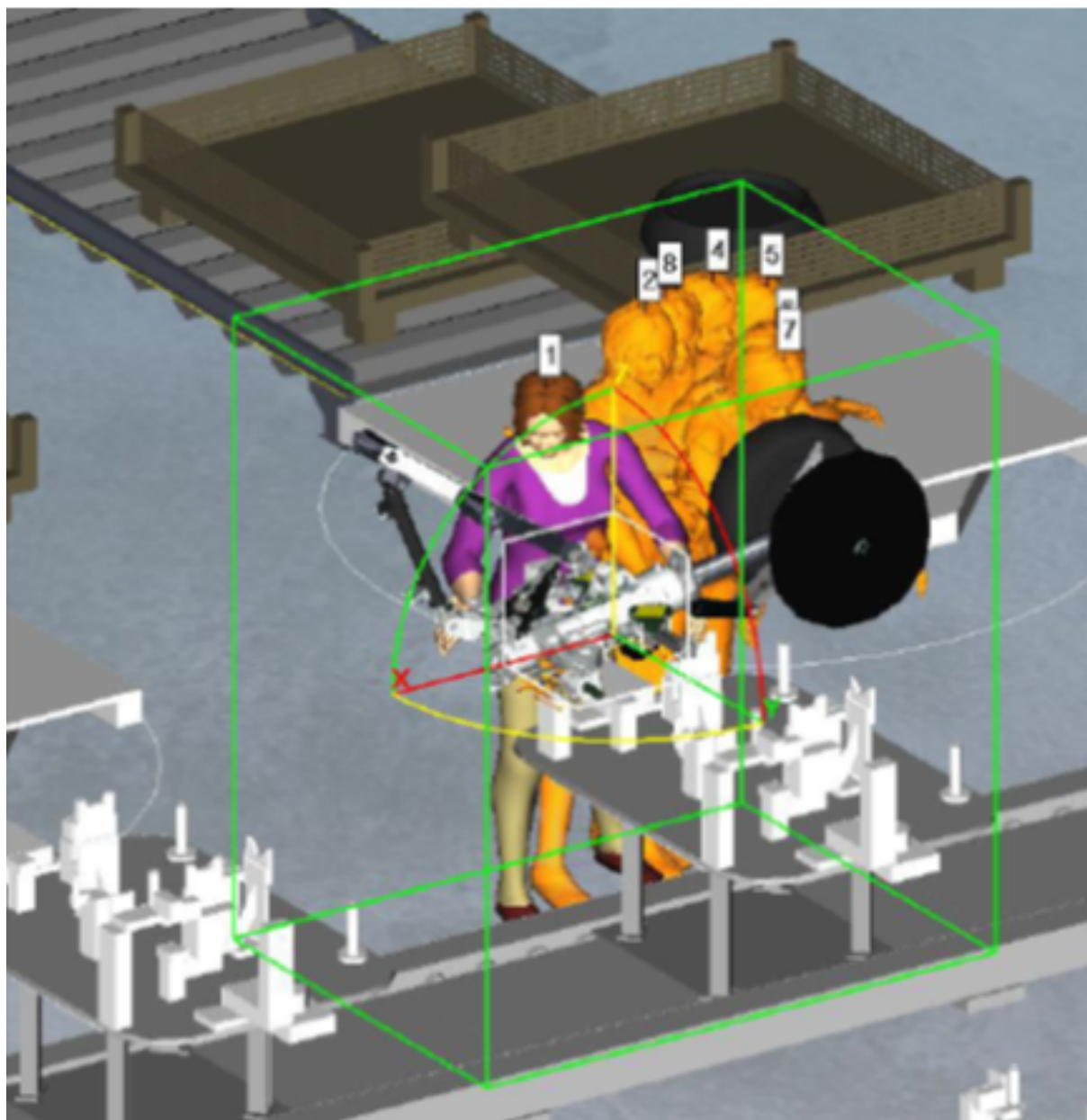


Figura 2.4.1 – Exemplo de verificação com o auxílio do Process Simulate. Reprodução de (6)



Figura 2.5.1 – Simulação da soldagem a ponto em uma estação de trabalho com o auxílio do software Robocad. Reprodução de (7)

3 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO VIRTUAL NA ESTRUTURA BIW

Com a apresentação das principais ferramentas usadas como verificação e otimização do projeto de um veículo em uma típica indústria automobilística como a FCA, nesse capítulo será exposto em detalhes um dos processos que são executados na estação de funilaria do veículo. Onde, as partes da funilaria por meio de uma série de operações de soldagem e montagem irão compor a estrutura do veículo, a qual posteriormente seguirá para as estações de pintura e montagem final (Figura 3.0.1). Sendo que na estação da funilaria, pode-se afirmar que as duas operações principais são: a construção da estrutura de BIW (abordada nesse capítulo) e a montagem das partes móveis (abordada no capítulo posterior).

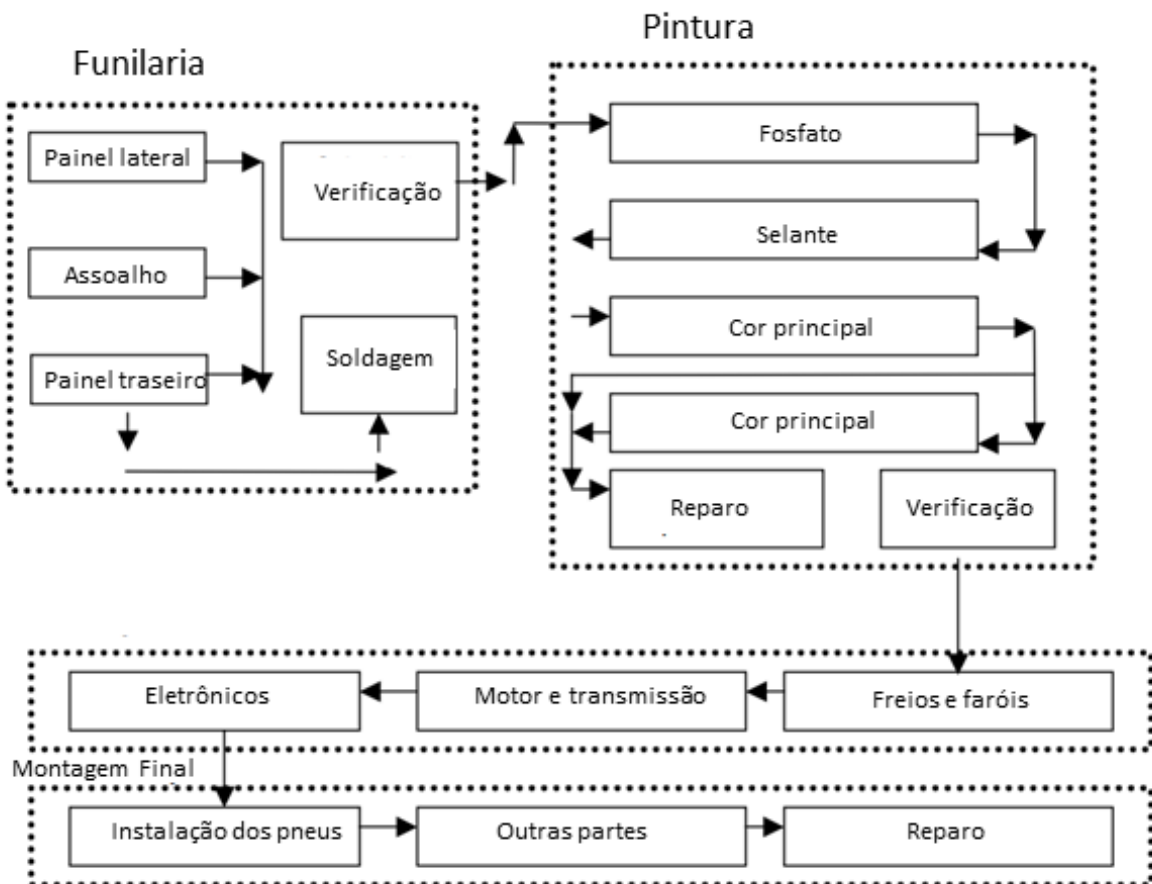


Figura 3.0.1 – Fluxo de operações em uma indústria automobilística. Reprodução de (8)

3.1 O processo de formação da estrutura BIW

A estrutura BIW como mencionado no capítulo 1, é a estrutura resultante das uniões dos vários painéis sem a presença das partes móveis e de componentes como motor e equipamentos elétricos. Sendo essa composta, em geral, por aço e alumínio, e, em alguns poucos casos fibra de carbono. Entre materiais diferentes os processos predominantes são a união por meio de rebites, parafusos e adesivos. Contudo, o principal processo usado para a formação do BIW é o processo de soldagem. Sendo desse o mais convencional, a soldagem a ponto responsável de 2000 a 5000 pontos de solda em uma estrutura BIW (20).

Entretanto, a soldagem a ponto apresenta algumas desvantagens significativas para o processo. Como o custo de capital necessário, dado o alto consumo de energia, no caso de uma união de aço com aço com espessura de 0,9 mm o intervalo de corrente usado é de 7 KA a 10 KA, enquanto que uma união de aço com alumínio com a mesma espessura o uso de corrente elétrica cresce para o intervalo de 18 KA a 23 KA. Dado que a união entre alumínio e aço dificultada pela formação do alto ponto de fusão da camada de óxido, o que reflete o uso de uma corrente elétrica maior no processo, e, portanto, de um robô e eletrodo mais rígidos para o processo (20).

Por conta dessas desvantagens, a indústria automobilística cada vez mais tenta diversificar o processo de junção por soldagem a ponto, por outros como: soldagem a arco e soldagem por laser. No caso da soldagem a arco, pode-se mencionar os dois mais usados na indústria automobilística, soldagem a arco TIG e soldagem a arco MIG. Cujo grande ponto de melhoria em relação à soldagem a ponto é a acessibilidade do local de solda. Enquanto que na soldagem a ponto o robô de solda precisa acessar o local tanto na parte superior como inferior, na soldagem a arco o robô acesso apenas um dos lados. Entretanto, tal técnica de soldagem impõe como grande obstáculo de qualidade de junção, o tamanho da zona térmica afetada (HAZ, sigla em inglês)(20).

Já em relação à soldagem a laser, pode-se considerar que essa cada vez mais está sendo aplicada pelo setor de inovação da indústria automobilística. Por conta das diversas vantagens que essa oferece frente aos outros tipos mais comuns, como (21):

- Melhor qualidade da solda;
- Zona térmica afetada menor;
- Maior velocidade no processo como um todo.

Entretanto, a soldagem a laser apresenta pontos negativos consideráveis, contribuindo assim para que a soldagem a ponto seja ainda a técnica mais usada, por exemplo (21):

- O alto custo do processo;
- Baixo limite de penetração (2-6 mm);
- Maiores riscos operacionais.

3.2 O processo de soldagem a ponto na estrutura BIW

Como foi mencionado na seção 3.1, o processo predominante na junção das partes da estrutura BIW é o processo de soldagem a ponto. E, portanto, por ser a operação de maior peso em quesitos de verificação e projeto, nesse capítulo será abordada como se executa a verificação do projeto em relação a esse fator na FCA e os resultados práticos de um caso real obtidos das verificações estarão expostos no Capítulo 5.

Antes do processo de verificação virtual aplicado na FAC e os resultados obtidos serem apresentados, a soldagem a ponto será abordada primeiramente em mais detalhes. Nesse tipo de soldagem, por meio de um eletrodo de cobre posicionado em cada extremidade das partes a serem unidas, uma corrente elétrica é gerada entre esses. E a área por qual essa flui, junto com a pressão exercida pelos eletrodos, se aquece até o seu respectivo ponto de fusão, formando posteriormente, o ponto de solda, nessa zona térmica afetada (8). Tal procedimento está exemplificado na Figura 3.2.1.

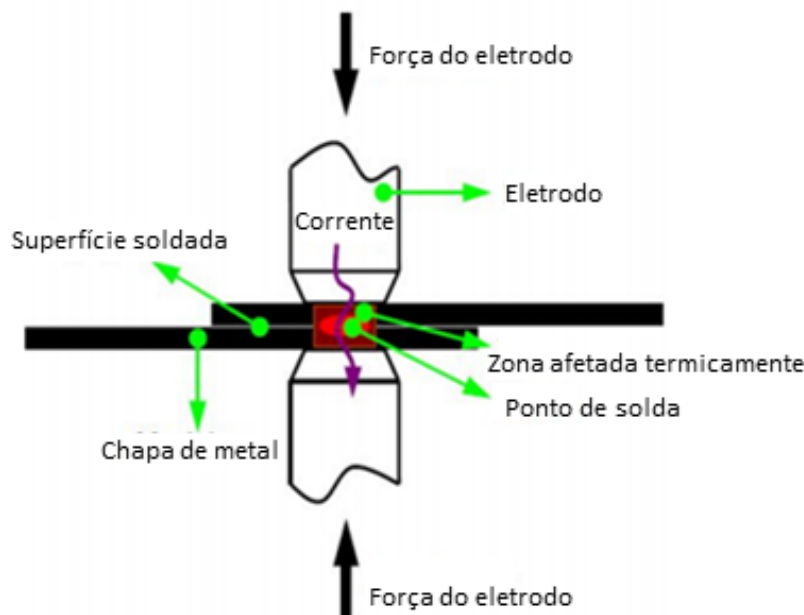


Figura 3.2.1 – Representação de um processo de soldagem a ponto. Reprodução de (8)

Por ser um processo responsável pela formação do corpo do veículo, e, portanto, afetando diretamente a performance mecânica em termos de vibração, rigidez e absorção de

energia. Usa-se um procedimento de controle para garantir não só a qualidade da operação, mas também a uniformidade da mesma nas várias fábricas da montadora (8).

No caso da soldagem a ponto, as restrições de controle referem-se à geometria da parte a ser formada, assim como o diâmetro do eletrodo. Além disso, o tipo de pinça de solda a ser usada é um fator avaliado após o projeto ser feito, dado que cada operação exige um intervalo de tamanho e formato da pinça (8).

Como a estrutura BIW é formada pela união de duas ou mais partes, todos os requisitos de projeto utilizados são dependentes da espessura da porção resultante, denominada espessura equivalente. No caso da FCA, a definição da espessura equivalente para as considerações a serem avaliadas no processo de verificação virtual (listadas abaixo) está apresentada na Figura 3.2.2.

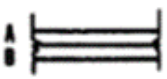
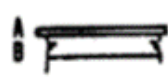
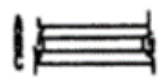
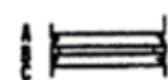
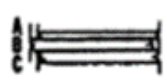
 $A = B$ Espessura equivalente = A	 $A < B$ Espessura equivalente = A $\min. \frac{A}{B} = \frac{1}{4}$	 $A = B = C$ Espessura equivalente = A	 $C > A > B$ Espessura equivalente = A $\min. \frac{A}{C} = \frac{1}{2,5}$	 $B > C > A$ Espessura equivalente = C $\min. \frac{A}{B} = \frac{1}{2,5}$
 $C > B > A$ Espessura equivalente = B $\min. \frac{A}{C} = \frac{1}{2,5}$	 $A = C > B$ Espessura equivalente = A	 $B = C > A$ Espessura equivalente = B $\min. \frac{A}{C} = \frac{1}{2,5}$	 $A = C < B$ Espessura equivalente = A	 $A = B < C$ Espessura equivalente = A = B $\min. \frac{A}{C} = \frac{1}{2,5}$

Figura 3.2.2 – Regras para espessura equivalente usadas na FCA. Reprodução de (9)

3.3 Metodologia do processo de verificação virtual da estrutura BIW

O uso de análise virtual do projeto em uma indústria automobilística é bastante difundido, englobando não só vários setores, assim como diferentes estágios e parâmetros do projeto. Sendo esse conceito denominado Manufatura Digital, o que inclui métodos, modelos e ferramentas como suporte para o planejamento da planta e das operações executadas

nessa. E, portanto, estabelecendo uma conexão entre o desenvolvimento do produto, desenvolvimento da produção e planejamento da fábrica (22), cuja interação varia de indústria para indústria, dependendo do método utilizado (23).

No caso da FCA e da BMW também, recentemente, o uso do método de validação do planejamento virtual vem adquirindo cada vez mais interesse. Baseado em um processo de verificação paralela que consiste na análise simultânea do planejamento do produto e do planejamento do processo, impondo dessa forma diversas iterações entre o projeto de ambos com o objetivo de reduzir problemas de projeto, velocidade, custo e qualidade (23).

Quanto à análise virtual desenvolvida para a realização da tese, essa focou-se somente no quesito de planejamento do produto, dado que a complexidade da execução prática do método de validação virtual fugiria ao escopo do trabalho desenvolvido. Para o planejamento do produto, a metodologia fundamentou-se no uso do projeto em CAD desenvolvido pelo setor de Engenharia de Projetos, sendo esse tanto um fator de entrada como de saída da análise virtual, junto com o relatório da Planilha Árvore de Armação, apresentado na seção 2.2. Com essas duas informações e por meio dos softwares de PLM discutidos também anteriormente, foi possível gerar os relatórios de verificação do projeto e assim se necessário propor mudanças no projeto de CAD (24).

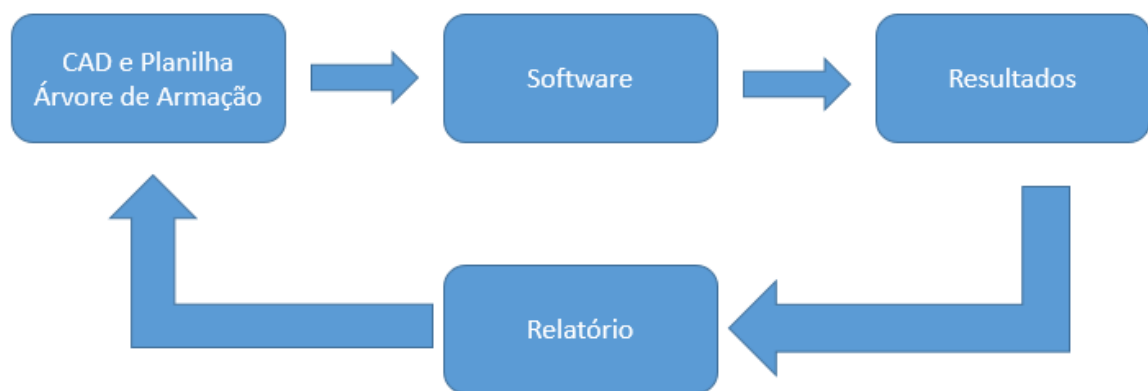


Figura 3.3.1 – Fluxo de informações na metodologia da simulação virtual da estrutura BIW.

Nos relatórios desenvolvidos, o foco da questão foi salientar os seguintes pontos verificados na simulação:

- Acessibilidade da pinça de solda;
- Detecção de colisão;
- Sobreposição das chapas de metal;
- Distância entre os pontos de solda;

- Folga entre o braço da pinça de solda e a estrutura.

Sendo que as propostas de mudanças elaboradas no relatório por conta desses fatores analisados são:

- Mudança da geometria da peça;
- Mudança da pinça de solda;
- Redistribuição dos pontos de solda.

No Capítulo 5 encontram-se apresentados três estudos de caso para diferentes regiões da estrutura BIW em termos da operação união das partes com o uso de soldagem a ponto, para um veículo específico da FCA (Jeep Renegade).

3.3.1 Conceito de "Green Field" e "Brown Field" na indústria

Além dos dados de entrada fornecidos pelos documentos de CAD e pela Planilha Árvore de Armação, a simulação virtual leva em consideração outros fatores também. Como o tipo de linha de produção que será realizada para a execução da montagem do veículo. Nesse quesito a literatura divide a planta em dois tipos: "Green Field" e "Brown Field" (25).

No caso do "Brown Field", esse caracteriza-se por ser uma linha de montagem já existente e em atividade, na qual o produto em desenvolvimento terá que se adequar. Dado que esse usará instalações e tecnologias já pré-determinadas. Como por exemplo, robôs de solda, pinças de solda, estruturas fixadoras e outras. Portanto, após a realização da simulação virtual, o pós processamento de dados deverá levar em conta as condições de contorno já existentes na linha de produção. Sendo esse tipo, em geral, o mais presente nos projetos. Pois oferece como vantagens a estabilidade do conhecimento do funcionamento da linha de produção por parte dos funcionários, uma logística de fornecimento de peças mais simples e a possibilidade de compartilhar as estruturas de tecnologia dos veículos da planta, reduzindo assim os custos (25).

Já em relação ao "Green Field", esse é definido por ser uma planta totalmente nova, onde o veículo a ser produzido será o primeiro ou o único da fábrica. Portanto, não existem condições de contorno para o processamento de dados da simulação virtual referente a um ferramental já existente. Sendo esse ponto, o principal fator positivo desse tipo de linha de montagem (25).

4 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO VIRTUAL NA MONTAGEM DAS PARTES MÓVEIS

Como foi mencionado anteriormente, existem dois processos principais na parte da funilaria na linha de montagem. O primeiro na hierarquia, a estrutura BIW consiste na união dos painéis e pilares para a formação do corpo veículo, e, portanto de considerável importância para as propriedades mecânicas do veículo, dado que afetará todas as etapas posteriores. Sendo a etapa imediatamente depois, a montagem das partes móveis nas respectivas aberturas da estrutura BIW (porta dianteira, porta traseira, porta-malas, capô e para-lama) (26). Essa etapa é de extrema importância para a qualidade do veículo também, já que resultados imprecisos no posicionamento por sua vez podem acarretar folgas indesejáveis na estrutura, ocasionando problemas funcionais e de qualidade estética, como, ruídos, falta de vedação e vibrações (26). Em geral para se evitar esses, realiza-se uma análise das principais fontes de causa, divididas em três grupos (2):

- Variação geométrica do componente;
- Erros nos elementos de fixação;
- Posicionamento das referências do componente.

Para se otimizar a redução da presença dessas causas na operação de posicionamento do corpo rígido na estrutura automotiva, diversos pesquisadores desenvolveram metodologias para solucionar o problema. Dentre esse pode-se mencionar o trabalho sobre a referência do corpo rígido por Bona e Menga (27). Assim como o trabalho de controle da qualidade da manufatura desenvolvido por Hu(28). Contudo, apesar desse problema ser consideravelmente abordado, o posicionamento do corpo rígido ainda apresenta dois pontos que necessitam de um desenvolvimento. O posicionamento do corpo rígido o qual baseia-se na melhor posição relativa entre dois componentes dada pela função de mínima distância, apresentando-se como bastante insatisfatória em alguns casos em que o a forma do componente varia de forma significativa (26). O outro ponto de melhoria refere-se à variação geométrica da abertura da estrutura BIW, assim como dos fixadores devido à deformação térmica provocada pelo processo de soldagem (26).

4.1 Metodologia da montagem das partes móveis na linha de montagem

A montagem das partes móveis em uma linha de montagem da indústria automotiva, em geral, segue dois tipos de sequência. Podendo começar com a porta traseira, seguida por porta dianteira, para-lama, capô e porta-malas (ilustrado na Figura 4.1.1). Ou na segunda sequência ao invés de montar o porta-malas por último, começar por esse (2). O motivo dessa cronologia de operações deve-se ao fato de que a porta dianteira e o para-lamas para serem posicionados necessitam de uma referência na estrutura, sendo sempre o componente anterior. Para a porta dianteira a referência é a porta traseira e em relação ao para-lamas a referência é a porta dianteira. Portanto, a montagem mais relevante é a da porta traseira dado que essa afeta indiretamente a qualidade do posicionamento dos outros dois componentes (28).

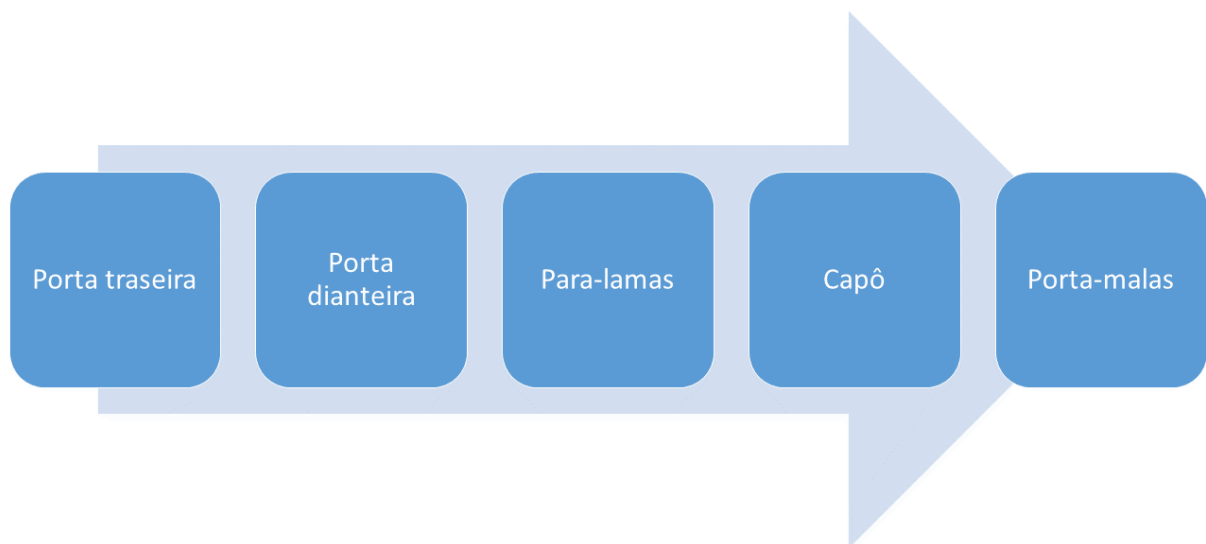


Figura 4.1.1 – Sequência de montagem das partes móveis.

Quanto ao processo em si, pode-se mencionar dois tipos (26):

- Semi-automático;
- Automático.

Na operação semi-automática de montagem das partes móveis, existem fatores a se considerar. O primeiro consiste na presença do operador, o qual é responsável por posicionar o painel realizando movimentos de translação e rotação na estação de trabalho, assim como realizar a fixação da parte móvel por meio de chaves de fenda automáticas e

manuais. O segundo fator está relacionado com as dobradiças. No método semi-automático, as dobradiças são o primeiro passo a ser realizado ao se considerar o posicionamento do painel metálico. Sendo fixadas em uma estação de trabalho anterior (2).

Já no processo automático, pode-se mencionar como principal benefício e característica um menor tempo de execução se comparado ao semi-automático. Contudo o seu custo é significativamente maior, devido ao design mais complexo da estrutura fixadora responsável pelo posicionamento e fixação do painel. Além de eliminar o fator humano durante o processo e das características mencionadas, um outro ponto de diferenciação é a metodologia de fixação das dobradiças. Nesse processo, essas são anexadas ao painel em uma estação de trabalho anterior e junto com essas são posicionadas e fixadas na estrutura do veículo (2).

4.2 Metodologia da simulação virtual aplicada na montagem das partes móveis

O objetivo da simulação virtual nesse quesito consiste na verificação do posicionamento dos painéis (porta traseira, porta dianteira, para-lamas, capô e porta-mala) nas respectivas aberturas da estrutura BIW. Usando como principal fator de análise a folga entre o painel e a estrutura, assim como também da acessibilidade das operações (2). Sendo que a variação de posicionamento do painel pode ser classificada de acordo com a literatura em dois segmentos: "in plane" e "out of plane". As variações "in plane" resultam do erro gerado pela estrutura fixadora do painel, enquanto que as variações "out of plane" são consequência do desvio de forma do painel em razão do processo de formação desses na estampagem assim como em razão da operação de soldagem das partes (29).

Em relação a metodologia aplicada para obter os resultados do estudo de caso desenvolvido, usou-se o mesmo procedimento empregado para a simulação virtual da operação de soldagem a ponto, apresentada no capítulo anterior (Figura 3.3.1); porém com algumas diferenças. No caso da análise da montagem das partes móveis usou-se somente o software Process Simulate, dado que esse divide o componente em diversas seções analisando tanto as variações de folga "in plane" como "out of plane" de forma automática, simplificando o trabalho de verificação. Além disso, avaliou-se com esse também a ergonomia do processo, pois há a presença da operação semi-automática no caso selecionado.

Quanto ao objeto de estudo, usou-se o mesmo modelo da análise de soldagem a ponto na estrutura BIW, o Jeep Renegade, cujos resultados para essa questão estão apresentados no Capítulo 6. Cabe ainda ressaltar que a simulação e análise de dados foram realizados apenas para as montagens das portas traseiras e dianteiras, já que são os casos mais complexos nesse processo e os mais abordados na literatura.

5 RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO VIRTUAL DE SOLDAGEM A PONTO

Nessa tese, será usado como estudo de caso o modelo Jeep Renegade da região EMEA (Figura 5.0.1), referente a África, Oriente Médio e Europa, produzido na fábrica de Melfi (Itália). O motivo do uso desse veículo compreende o fato de que a sua linha de produção já está presente no mercado e do seu grande sucesso de vendas. Apenas para ilustrar tal característica, cerca de 135.000 unidades são produzidas na fábrica de Melfi e em Março de 2015, esse modelo ocupava a quinta posição do mercado europeu (10).

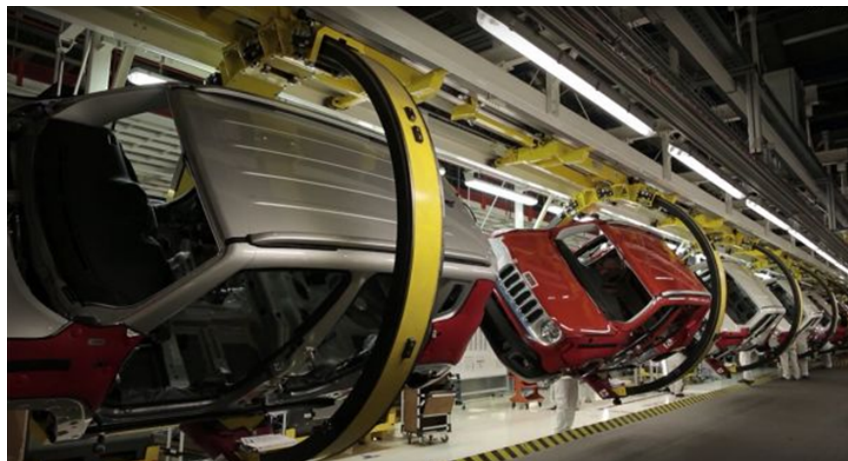


Figura 5.0.1 – Linha de produção do Jeep Renegade na fábrica de Melfi. Reprodução de (10)

5.1 Terminologia

Apenas de forma a simplificar a apresentação dos resultados obtidos, ao invés de usar os nomes dos parâmetros a serem verificados, esse documento usará abreviações (Tabela 1).

5.2 Processo de soldagem a ponto primeiro caso

Nesse primeiro caso, será analisado uma parte do chassi, mais especificamente, o assoalho traseiro. O qual é composto por quatro componentes cuja união é executada pela soldagem a ponto. Todas as operações de união desses componentes são executadas em uma estação de trabalho, como pode-se observar na Figura 5.2.1.

Tabela 1 – Terminologia

Nome	Abreviação
Ponto de solda	WP
Espessura da parte A	PAT
Espessura da parte B	PBT
Espessura equivalente	EQT
Distância mínima entre pontos de solda	MDP
Diâmetro do eletrodo	ELS
Distância mínima da borda	MED
Superposição das partes	RSS
Mínima superposição das partes	MSS
Distância real entre os pontos de solda	RDP
Distância real da borda	RED
Mínima distância de um obstáculo	MDO
Distância de um obstáculo	RDO

Como foi mencionado anteriormente, a análise é baseada na verificação dos requisitos de projeto referentes a espessura equivalente das partes para cada ponto em que foi realizada a soldagem a ponto. Na Tabela 2 são apresentados os resultados dessa verificação para o assoalho traseiro. Sendo essa dividida em três partes: a primeira referente aos requisitos de projeto, a segunda com os parâmetros obtidos por meio do software de PLM, e, a terceira, o status dessa análise.

Como pode-se observar na Tabela 2, o total de pontos de solda sujeitos a verificação por meio da simulação virtual, foram dez. Com exceção dos três primeiros, todos os outros estão dentro dos requisitos de projeto impostos. Em relação aos pontos de solda com anomalia, com a ajuda do software Teamcenter Visualization Mockup o parâmetro de distância do ponto de solda até a borda será reavaliado, e um relatório de revisão do processo com o problema relatado será elaborado. Em geral, quando o resultado está próximo do limite, apenas a exposição do fato é feita sem nenhuma proposta alternativa de mudança.

Na Figura 5.2.2 estão apresentados os três pontos de solda que não atenderam os requisitos de projeto, ressaltando na seção de corte o parâmetro com problema. No caso, a distância do ponto de solda até a borda.

5.2.1 Análise da pinça de solda para o primeiro caso

Além do estudo do cumprimento da norma em relação à posição do ponto de solda, um outro procedimento avaliado refere-se à pinça de solda. No caso de um modelo que contará com uma linha de montagem nova, a pinça de solda que melhor se apresenta para o processo será selecionada, ou seja, aquela que apresenta menor risco de colisão e menores custos de projeto ("Green Field") (25). Entretanto, no caso do modelo utilizar a linha de

Visualization Mockup para as pinças da Figura 5.2.3. O primeiro resultado a ser exposto será da pinça de solda "Pinça 01".

De forma a se analisar o risco de colisão, a pinça de solda foi posicionada no ponto mais crítico da peça a ser soldada (no centro do assoalho traseiro). Como é possível observar na Figura 5.2.4, a pinça "Pinça 01" apresenta colisão, e, portanto não é adequada para o projeto.

Como a pinça anterior não é adequada para o processo de soldagem do assoalho traseiro, avaliou-se o uso da pinça "Pinça 06". A geometria do braço da pinça é similar ao da pinça avaliada anteriormente, porém sua dimensão é maior. Entretanto, essa também, por meio da mesma metodologia de simulação virtual, foi incapaz de se adequar ao projeto por apresentar colisão com o componente (Figura 5.2.5).

Dada a impossibilidade de se usar as pinças mencionadas, realizou-se mais uma análise, verificando-se a conformidade da pinça "Pinça 07" para a operação. Embora, essa também possua uma geometria similar as outras, a sua dimensão é consideravelmente maior. E, por conta desse fator, avaliou-se que não há presença de colisão, e, portanto, é adequada para a execução da soldagem do assoalho traseiro (Figura 5.2.6).

5.3 Processo de soldagem a ponto segundo caso

Para o segundo estudo de caso, foi selecionado uma outra partes do chassi, o assoalho dianteiro. Como esse componente é resultante da união de vários outros componentes, e, consequentemente de várias execuções de soldagem a ponto, foi analisado apenas uma união, dado que a análise completa fugiria ao escopo do projeto. Devido a esse fator, foi selecionada a operação de união entre o assoalho dianteiro e o túnel.

A metodologia usada para o assoalho dianteiro será a mesma do assoalho traseiro. Usando a espessura equivalente e por meio do software Teamcenter Visualization Mockup a verificação do cumprimento dos requisitos do projeto. Sendo que para facilitar o processo de dados, esses foram divididos em três grupos: lado direito, lado esquerdo e parte superior do componente resultante.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados obtidos para a superfície do lado direito. Dentre todos os pontos de solda analisados por meio do software, apenas um, o ponto de solda 42 possui um problema de projeto quanto a sua geometria. Mais especificamente, a distância entre o ponto de solda e a borda. A mínima distância requirida pelo projeto considerando a espessura equivalente de 1,1 mm é de 6 mm. Entretanto, para esse ponto em questão, verificou-se que a distância real é de 5,84 mm (Figura 5.3.1). O que impõe a realização de um relatório para a revisão desse ponto em específico.

Para a superfície do lado esquerdo, o mesmo tipo de problema se apresentou, a

Tabela 3 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície direita.

WP	PAT	PBT	EQT	ELS	MED	MDP	MDO	MSS	RSS	RDP	RED	RDO	STATUS	UNITS
37	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	22,93	42,57	10,34	16,97	OK	mm
38	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,77	42,57	9,29	24,55	OK	mm
39	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	30,97	34,95	20,27	14,87	OK	mm
40	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,8	34,95	7,88	20,76	OK	mm
41	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	29,27	22,87	8,82	13,84	OK	mm
42	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	29,6	22,87	5,84	26,68	REV	mm
43	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	29,12	NA	15,11	5,06	OK	mm
44	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,38	39,22	8,47	35,52	OK	mm
45	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	39,95	22,95	27,15	16,26	OK	mm
46	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	40,97	22,95	6,34	36,78	OK	mm
47	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	39,39	21,94	10,21	11,25	OK	mm
48	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	39,41	21,94	8,51	32,64	OK	mm
49	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	38,98	19,58	27,14	14,87	OK	mm
50	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,8	20,76	17,23	28,79	OK	mm
51	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	17,07	20,76	7,37	39,02	OK	mm
52	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	16,35	NA	10,36	NA	OK	mm

distância mínima entre o ponto de solda e a borda para os pontos de solda 12 e 15. Para ambos o requisito mínimo de distância foi de 6 mm (Tabela 4). Para o ponto de solda 12, houve um desvio de 3,33% e para o ponto de solda um desvio de 0,8%, portanto, para esse nenhuma modificação será proposta dado a proximidade do limite.

Na figura 5.3.2 está ilustrado o resultado obtido com o software Teamcenter Visualization Mockup. Como pode-se observar a região com problema é a mesma verificada na superfície direita com o ponto de solda 42.

Tabela 4 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície esquerda.

WP	PAT	PBT	EQT	ELS	MED	MDP	MDO	MSS	RSS	RDP	RED	RDO	STATUS	UNITS
1	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	25,47	40,86	11,48	16,54	OK	mm
2	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	25,73	40,86	8,7	26,29	OK	mm
3	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	23,89	16,02	8,36	28,29	OK	mm
4	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	33,29	27,18	24,12	13,33	OK	mm
5	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	35,63	20,07	24,71	12,87	OK	mm
6	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	33,29	20,07	8,31	30,05	OK	mm
7	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	33,29	26,89	8,75	28,73	OK	mm
8	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	34,97	26,76	25,59	11,06	OK	mm
9	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	33,29	29,76	9,57	6,06	OK	mm
10	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,55	19,24	6,23	29,76	OK	mm
11	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,55	19,02	21,86	14,64	OK	mm
12	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,55	19,02	5,8	29,89	REV	mm
13	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,58	19,15	13,86	24,15	OK	mm
14	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,69	19,15	21,45	15,23	OK	mm
15	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	28,11	49,49	5,95	34,43	REV	mm
16	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	17,46	49,49	6,89	19,48	OK	mm
17	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	15,52	NA	7,26	19,62	OK	mm

Quanto a parte superior do componente resultante, nenhuma anomalia foi verificada. Todos os requisitos de projeto com base na espessura equivalente das peças foram cumpridos (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície superior.

WP	PAT	PBT	EQT	ELS	MED	MDP	MDO	MSS	RSS	RDP	RED	RDO	STATUS	UNITS
18	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	NA	35,29	16,37	5,61	OK	mm
19	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	29,85	59,69	14,4	22,07	OK	mm
20	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,67	59	12,68	5,17	OK	mm
21	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	27,18	59	11,46	3,86	OK	mm
22	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	NA	35,95	15,23	8,29	OK	mm
23	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	39,36	33,24	19,04	11,69	OK	mm
24	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	44,41	32,63	19,49	17,41	OK	mm
25	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	53,81	32,58	32,83	12,92	OK	mm
26	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	38,34	39,41	9,91	22,45	OK	mm
27	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	52	32,69	6,52	13,31	OK	mm
28	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	52,62	32,69	12,38	19,61	OK	mm
29	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	26,64	27,85	13,15	7,66	OK	mm
30	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	NA	27,85	29,22	31,63	OK	mm
31	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	31,27	59,7	16,98	19,89	OK	mm
32	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	34,22	46,83	15,98	21,85	OK	mm
33	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	33,3	46,83	13,68	16,42	OK	mm
34	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	35,64	35,94	17,27	9,13	OK	mm
35	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	32,23	35,94	13,92	39,09	OK	mm
36	1,1	1,2	1,1	6	6	16	3	12	32,04	35,27	13,26	37,22	OK	mm

5.4 Análise da pinça de solda para o segundo caso

Como mencionado anteriormente, a análise referente à pinça de solda não leva em conta os custos. Por meio do software Teamcenter Visualization Mockup, é verificada apenas a presença ou não de colisão e acesso para a operação. Para o túnel um maior número de pinças foi avaliado, dado que a acessibilidade aos pontos onde deverão ser realizados a soldagem a ponto são mais difíceis que no caso anterior. No total o estudo compreendeu cinco pinças de solda, ilustradas na Figura 5.4.1 e na Figura 5.4.2.

Assim como foi feito com a verificação dos pontos de solda, a análise da acessibilidade da pinça de solda será verificada por regiões: face esquerda, face direita e face superior do componente.

Na Tabela 6 é apresentado o resultado final da simulação virtual. Mais especificamente, a presença ou não de colisão. Para as pinças "Pinça 04" e "Pinça 05" há uma presença clara de colisão entre o componente e o braço da pinça, e, portanto, o seu uso para o projeto de soldagem a ponto pode ser desconsiderado(Figura 5.4.3).

Tabela 6 – Resultado obtido para os pontos de solda no assoalho dianteiro na superfície superior

Pinça	Status	Local de Ação
Pinça 03	OK	Laterais e parte superior
Pinça 04	Colisão	Nenhuma
Pinça 05	Colisão	Nenhuma
Pinça 06	OK	Parte Superior
Pinça 07	OK	Parte Superior

O objetivo principal dessa análise foi a verificação da pinça mais adequada para a operação. Após a simulação virtual ser concluída e os dados processados, foi concluído que a pinça "Pinça 03" é a melhor opção dentre essas, dado que pode ser usada para a soldagem a ponto em todas as regiões. Já em relação as pinças "Pinça 06" e "Pinça 07", foi observado que ambas podem ser utilizadas para a face superior. Contudo, a "Pinça 07" mostra-se como uma opção melhor se comparada a "Pinça 06" por apresentar um maior espaço entre braço e componente (Figura 5.4.4).

5.5 Processo de soldagem a ponto terceiro caso

Para o estudo de caso 3, a parte avaliada apresenta uma complexidade consideravelmente maior, dado que é a operação completa na estação final da linha de montagem para toda a estrutura de BIW do Jeep Renegade. Sendo de extrema importância, dado que essa definirá a eficiência das propriedades mecânicas do veículo. E, diferentemente, dos dois casos anteriores, as ferramentas usadas são também de um grau maior de complexidade, o software Robocad e Process Simulate, mencionados anteriormente.

Na Figura 5.5.1, está representada a estação de trabalho na qual a simulação foi executada, estação 70, identificada pelo código ST 70 entre duas estações de trabalho de espera. Isso por conta do espaço requisitado pelo grande número de robôs na ST 70, no total 12 robôs. A presença dessa quantidade de robôs se deve ao fato do ciclo de produção do veículo e da janela de tempo restrita para executar uma operação com um grande volume de pontos de solda como essa. Na Figura 5.5.2 está esquematizado os componentes soldados, assim como o número de pontos de solda a serem feitos por grupo.

Para a análise da factibilidade da operação, verificou-se a presença de colisão no trajeto percorrido pela pinça de solda, assim como os requisitos geométricos dos pontos de solda. Para a simulação do trajeto, usou-se o software Robocad, o qual fornece um caminho ótimo a ser executado pelos 12 robôs. E, para o posicionamento dos pontos de solda, utilizou-se o software Process Simulate.

A simulação com o software Robocad permite uma visão completa da estação de trabalho. As estruturas de fixação, a estrutura BIW, os robôs e, o mais importante, a simulação em tempo real da operação de soldagem a ponto.

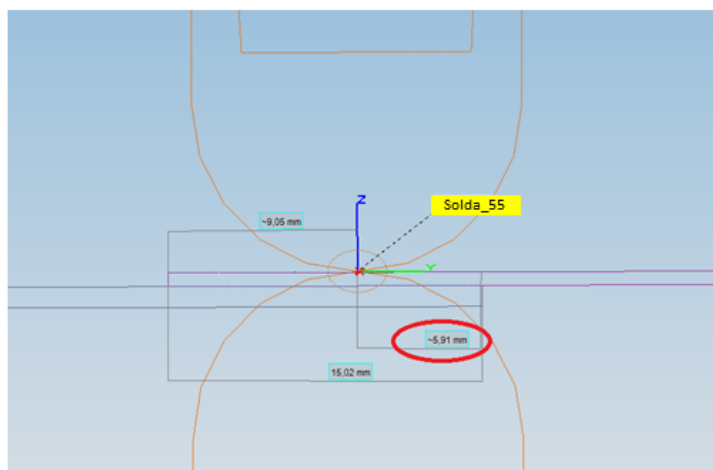
Na Figura 5.5.3, está ilustrada a simulação realizada pelo software Robocad, mais especificamente a vista lateral da ST 70 em operação. Nessa imagem, as estruturas de fixação foram subtraídas de forma a deixar mais evidente a estrutura BIW. Já na Figura 5.5.4, está representada a operação completa. Como qualquer simulação virtual, o objetivo central consiste na representação real do ambiente real o mais próximo possível. O que motiva o grande enfoque nesse segmento dentro da indústria automobilística.

Com relação ao software Process Simulate, a verificação virtual focou-se na geometria do ponto de solda, fornecendo, portanto, uma base de dados para a elaboração do relatório com as mudanças necessárias no projeto. Com esse documento a equipe de Engenharia de Projetos será capaz de realizar as ações necessárias para atingir a factibilidade do projeto. Tal interação entre áreas ocorre entre a aprovação do projeto e a etapa cinco, ilustrada na Figura 5.5.5 (24).

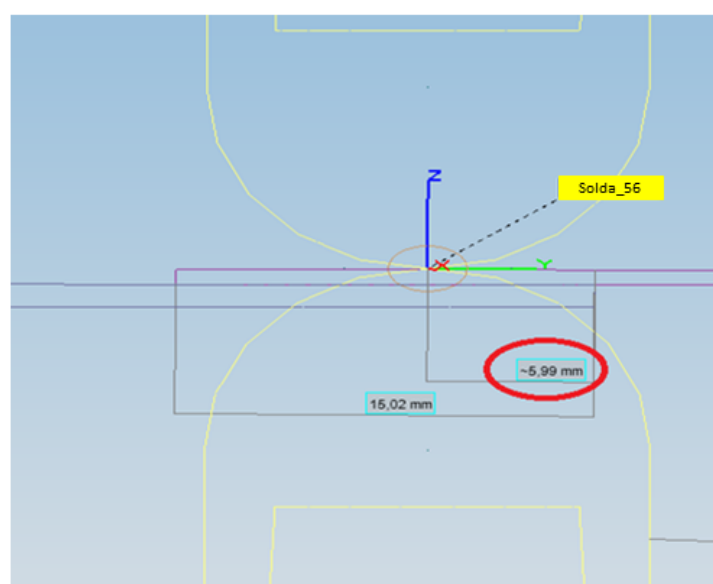
Na Figura 5.5.6, está representado um dos problemas encontrados na avaliação da operação de soldagem do relatório gerado para esse estudo de caso. Mais especificamente, o tamanho da fenda entre o braço da pinça de solda e o componente. Como solução, foi proposto o deslocamento do ponto de solda em 1mm de forma a garantir uma folga de 3 mm, condizente com os requisitos de projeto.

Além dessa anomalia, foi verificado um outro problema na parte dianteira da estrutura BIW. Na Figura 5.5.7, está apresentado o resultado obtido e inserido no relatório. Para essa região, foi encontrado o mesmo problema do caso anterior, a distância entre o braço de solda e a estrutura, e, também um problema de superposição das chapas de metal, totalizando três questões a serem revistas.

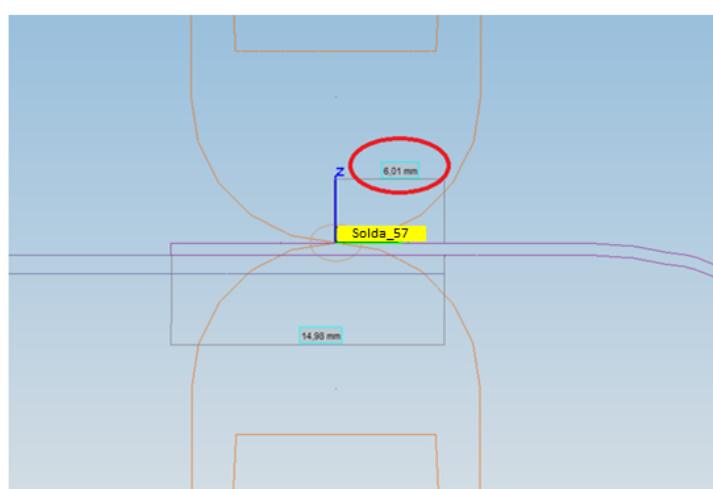
Os dois primeiros referem-se a distância do centro do eletrodo a borda da chapa, 5,23 mm e 4,61 mm, enquanto que para a espessura equivalente obtida a norma prevê no mínimo uma distância de 6 mm. Além disso, há questão da sobreposição das chapas. Para a espessura equivalente exige-se que essa possua no mínimo 14 mm, contudo, a configuração ilustrada apresenta apenas 9,84 mm. Impondo com isso a necessidade de uma mudança da geometria das chapas, 2,1 mm de aumento tanto da chapa inferior como da superior em termos de comprimento.



(a) Visão de acordo com o eixo X para o ponto de solda 55.



(b) Visão de acordo com o eixo X para o ponto de solda 56.



(c) Visão de acordo com o eixo X para o ponto de solda 57.

Figura 5.2.2 – Resultados dos pontos de solda do assoalho traseiro obtidos com o Team-center Visualization Mockup.

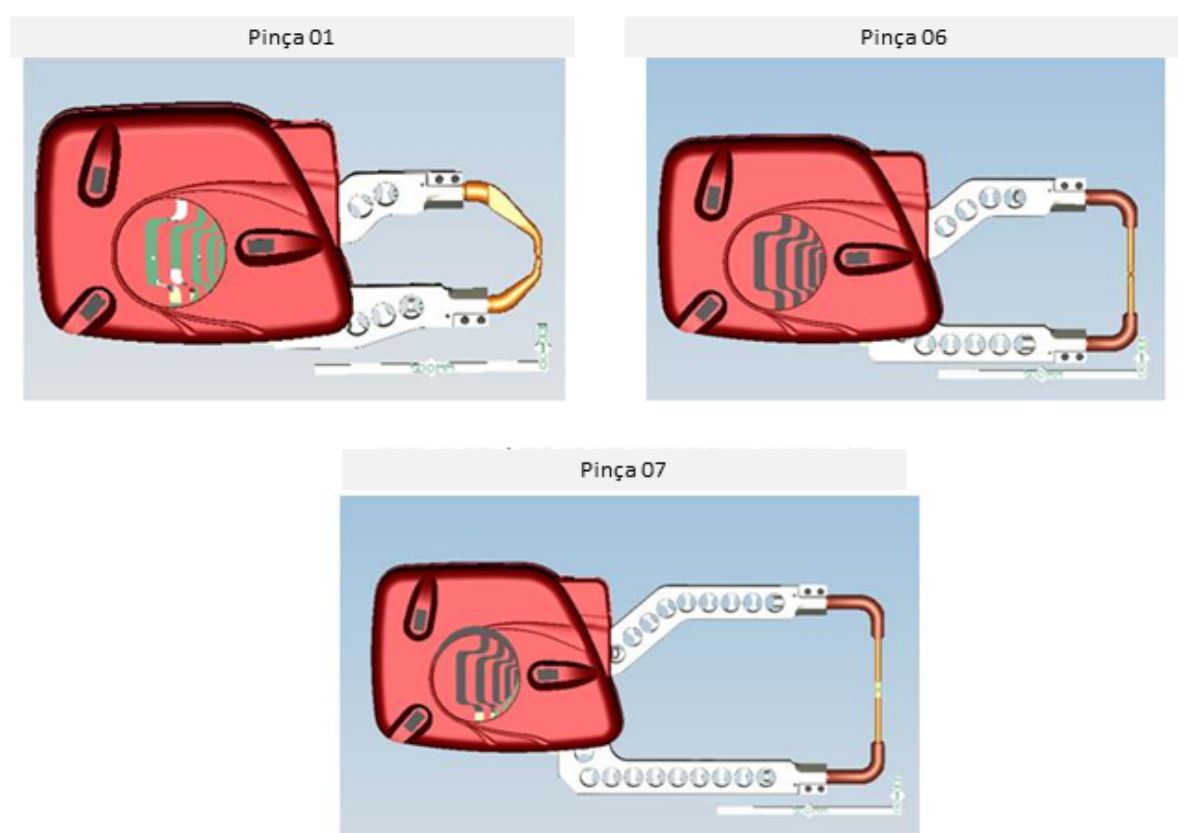


Figura 5.2.3 – Pinças de solda avaliadas para o primeiro caso.

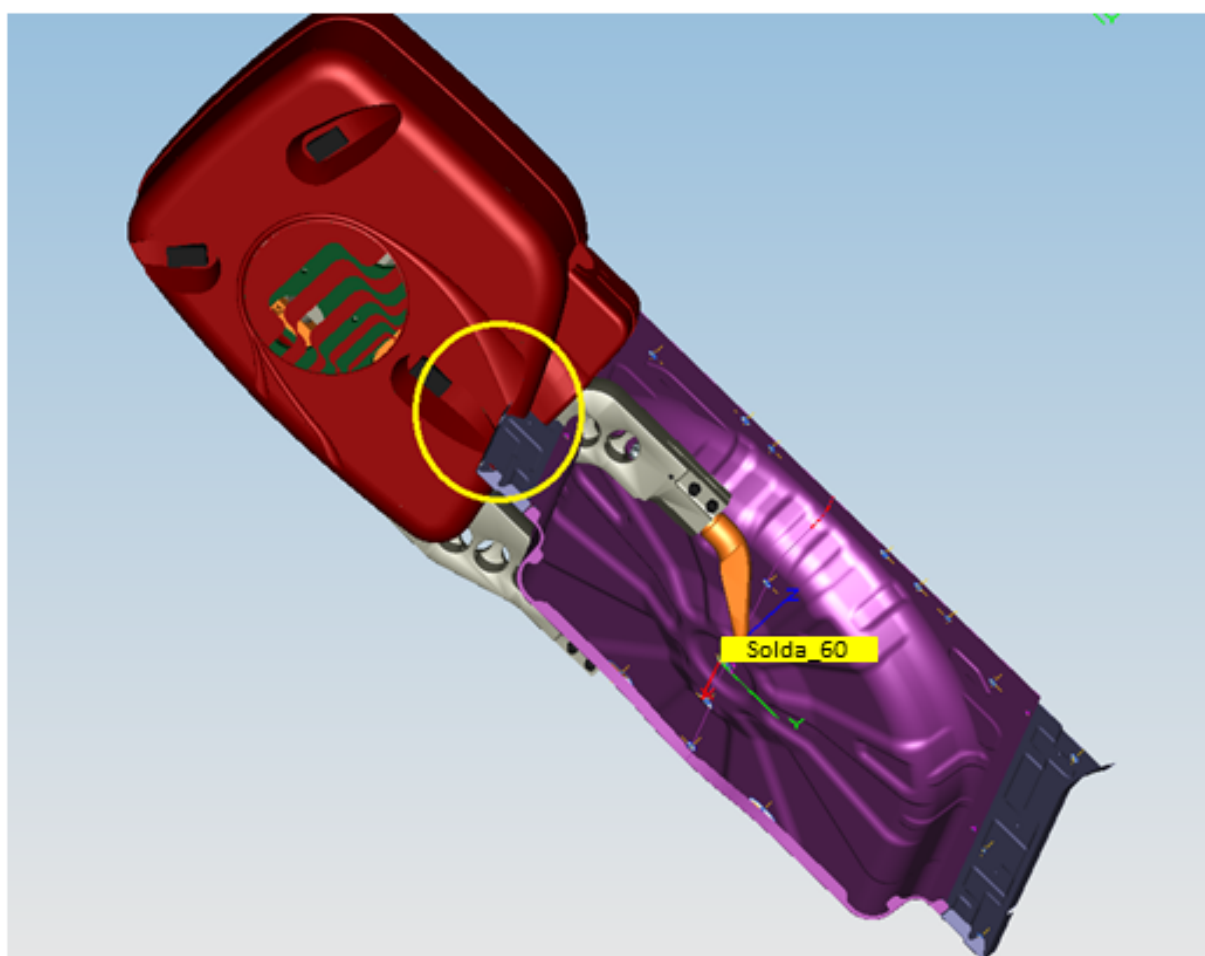


Figura 5.2.4 – Colisão da pinça "Pinça 01".

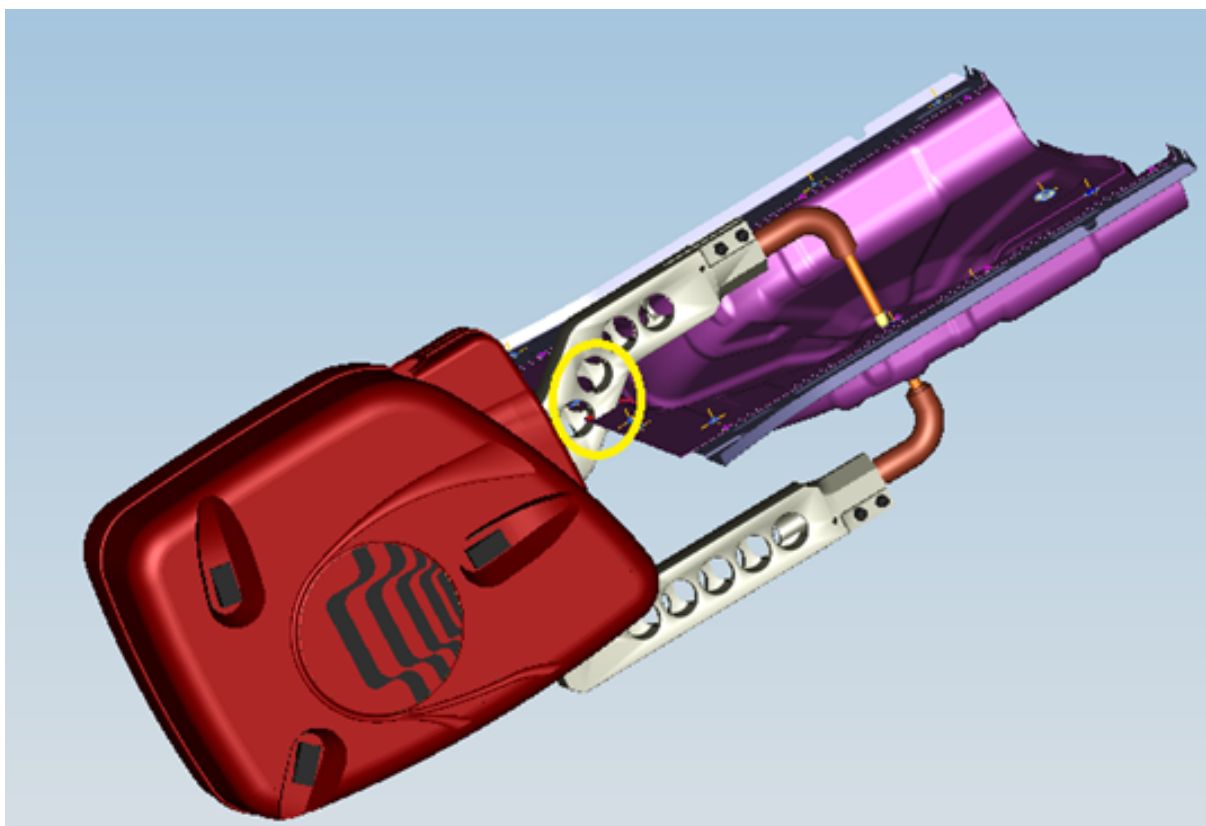


Figura 5.2.5 – Colisão da "Pinça 06".

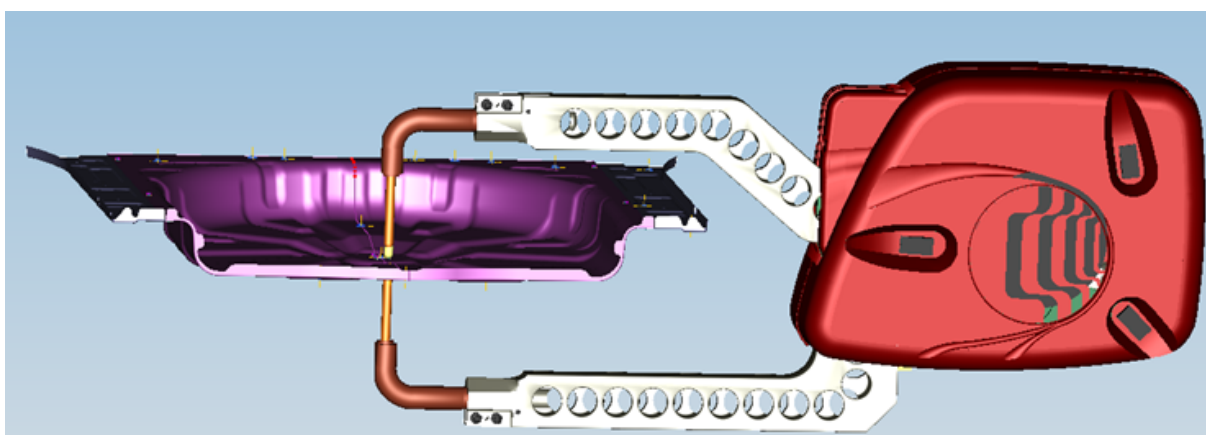


Figura 5.2.6 – Colisão da pinça "Pinça 07".

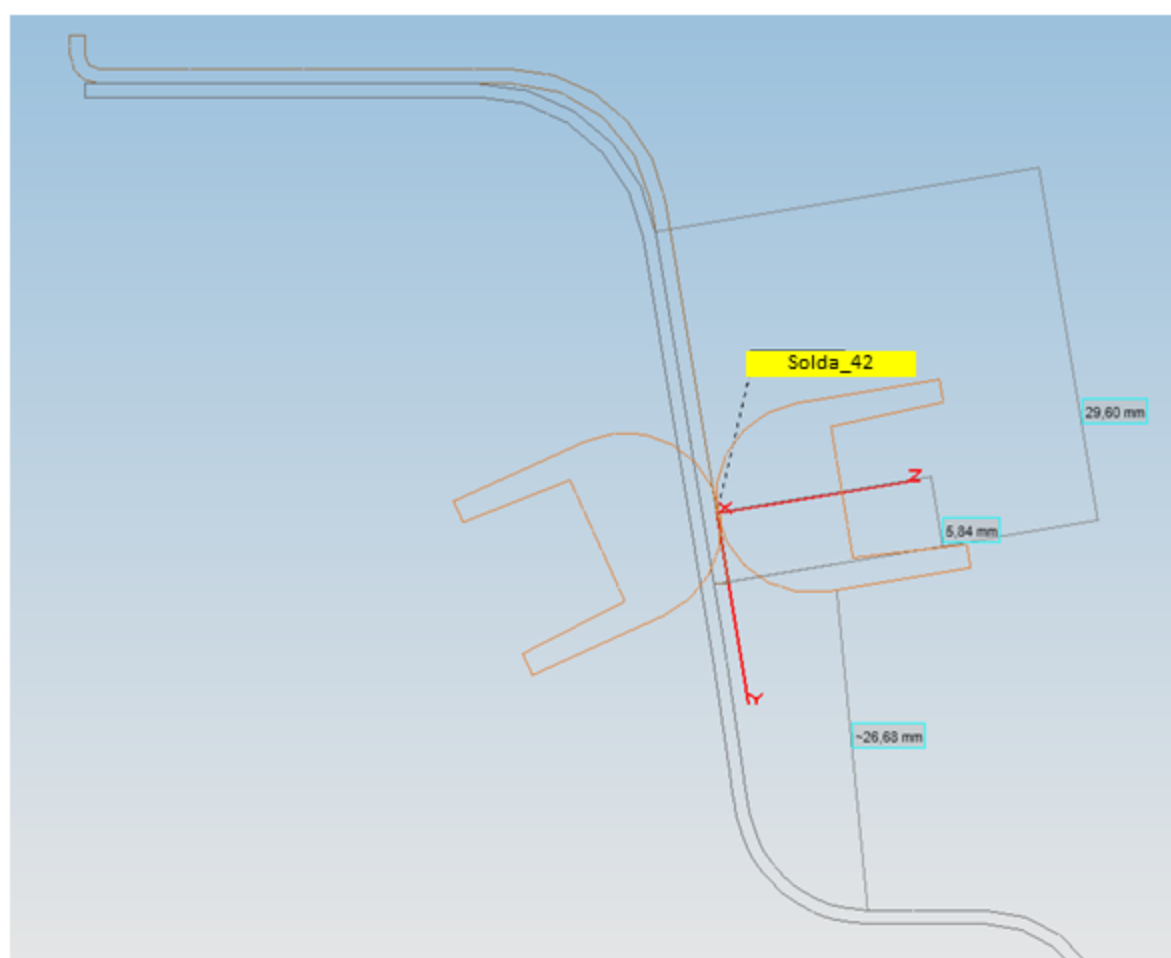


Figura 5.3.1 – Resultado da soldagem para o ponto 42 referente a união do assoalho dianteiro com o túnel.

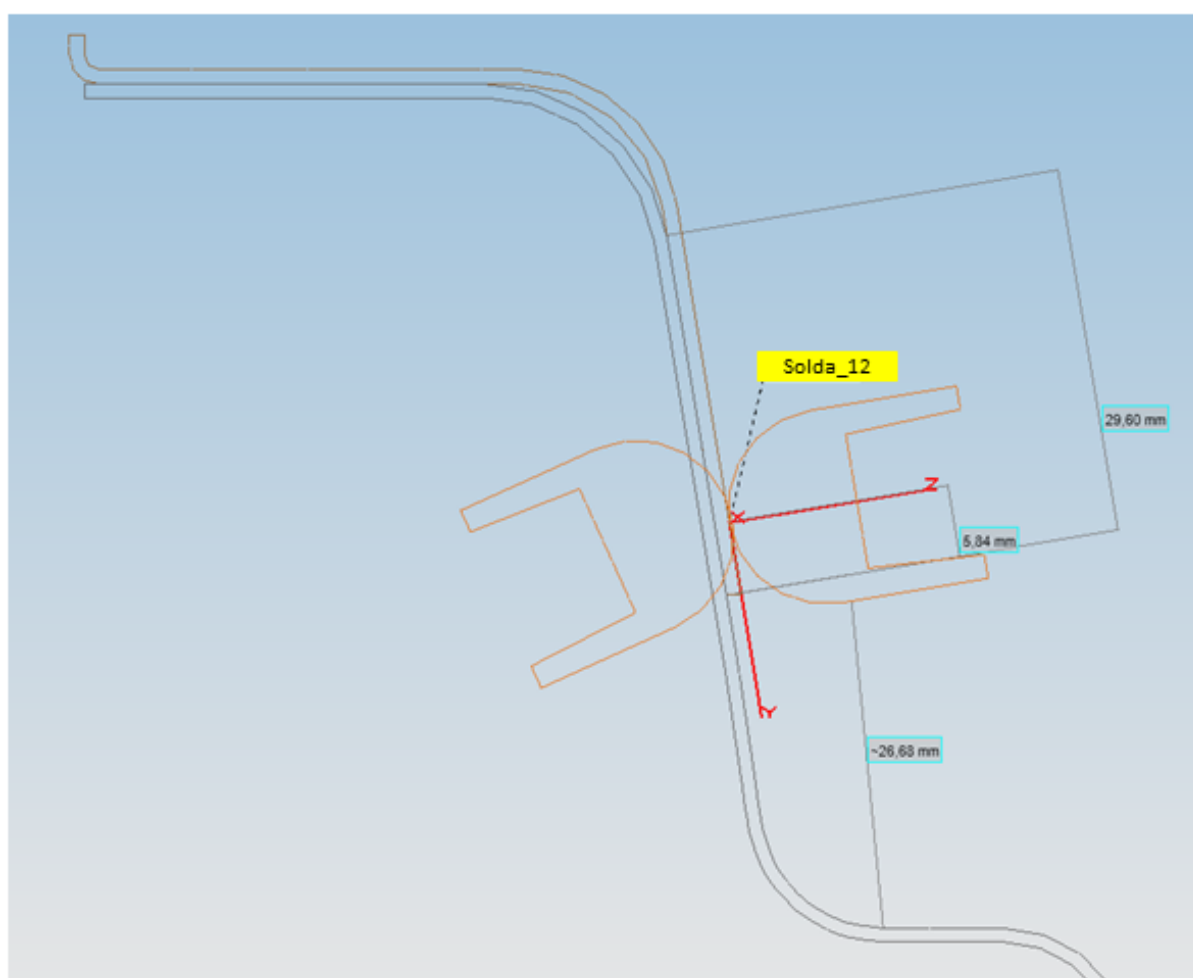


Figura 5.3.2 – Resultado da soldagem para o ponto 12 referente a união do assoalho dianteiro com o túnel.

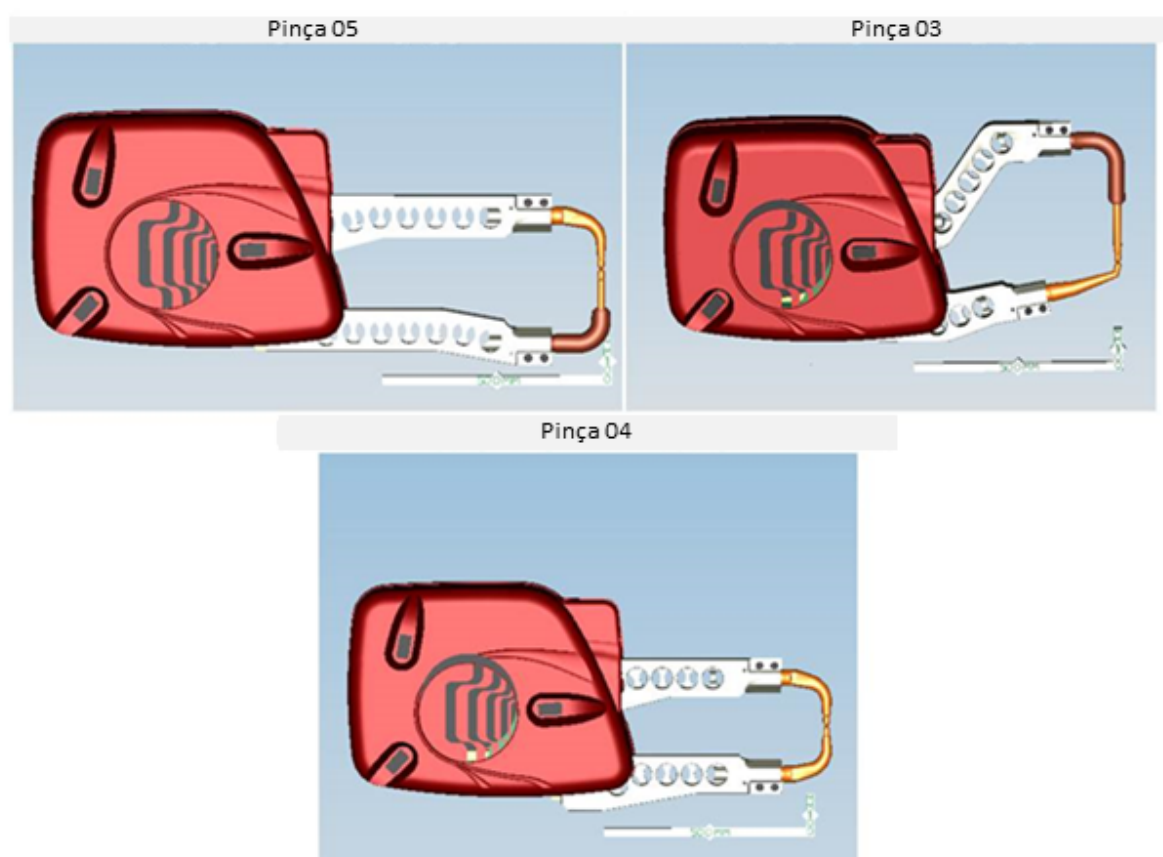


Figura 5.4.1 – Pinças de solda avaliadas para o segundo caso: "Pinça 05", "Pinça 03" e "Pinça 04".

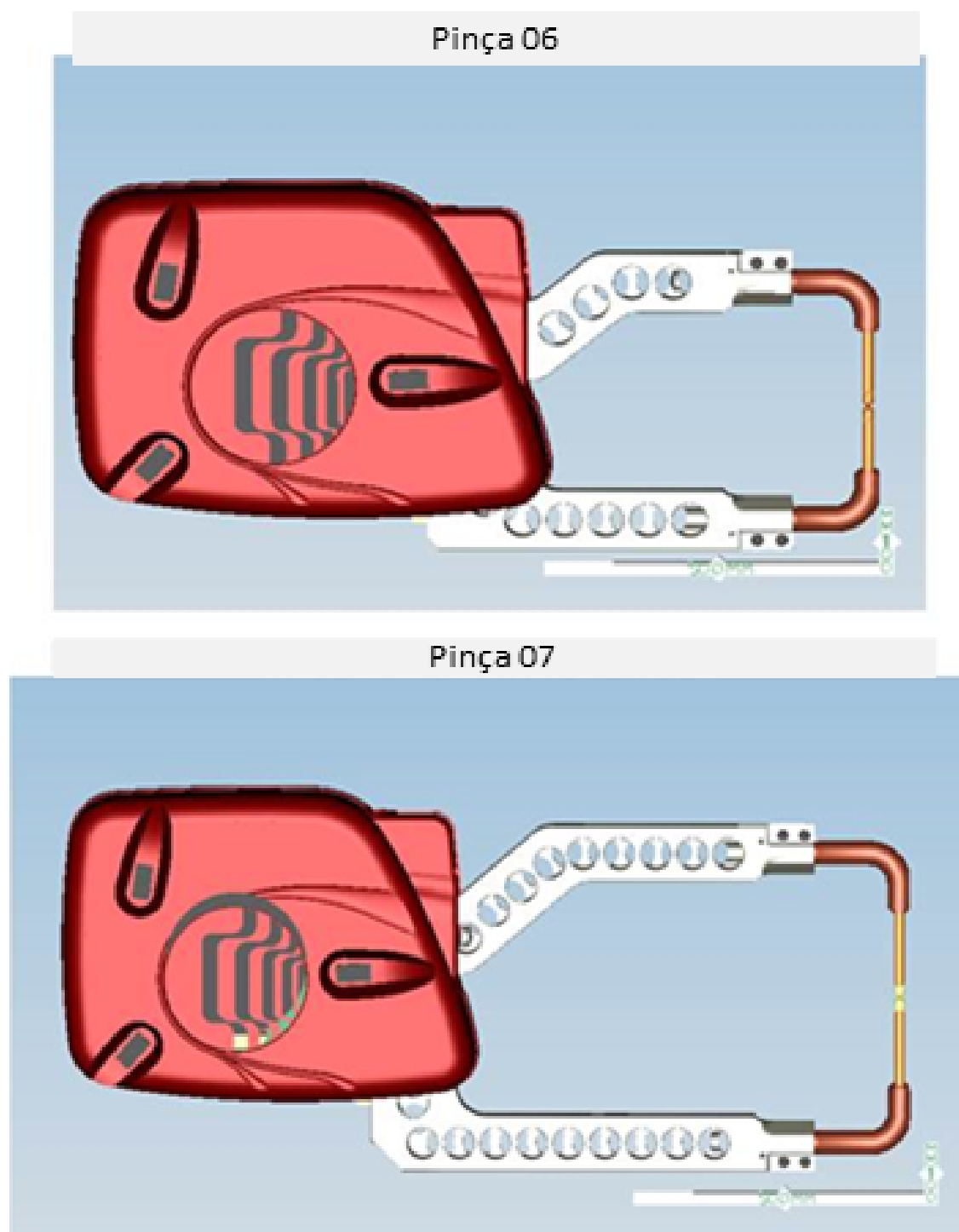


Figura 5.4.2 – Pinças de solda avaliadas para o segundo caso: "Pinça 06" e "Pinça 07".

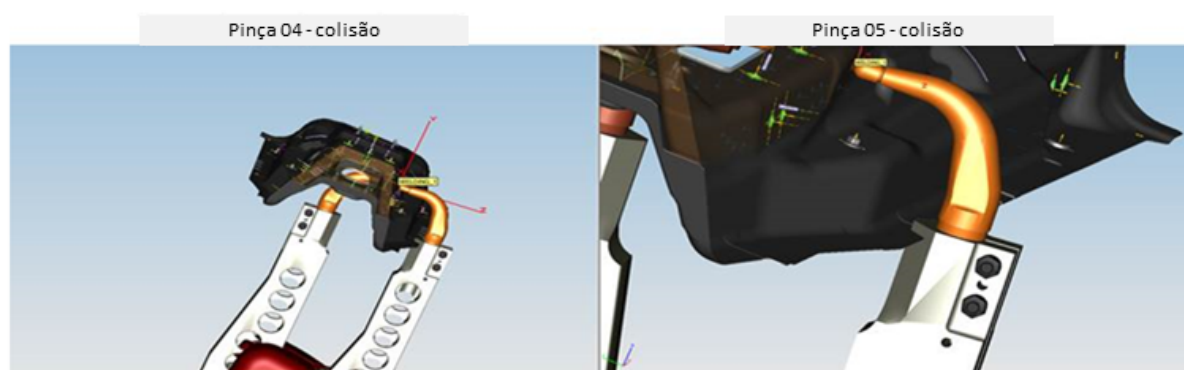


Figura 5.4.3 – Pinças de solda para o segundo caso: "Pinça 04" e "Pinça 05".

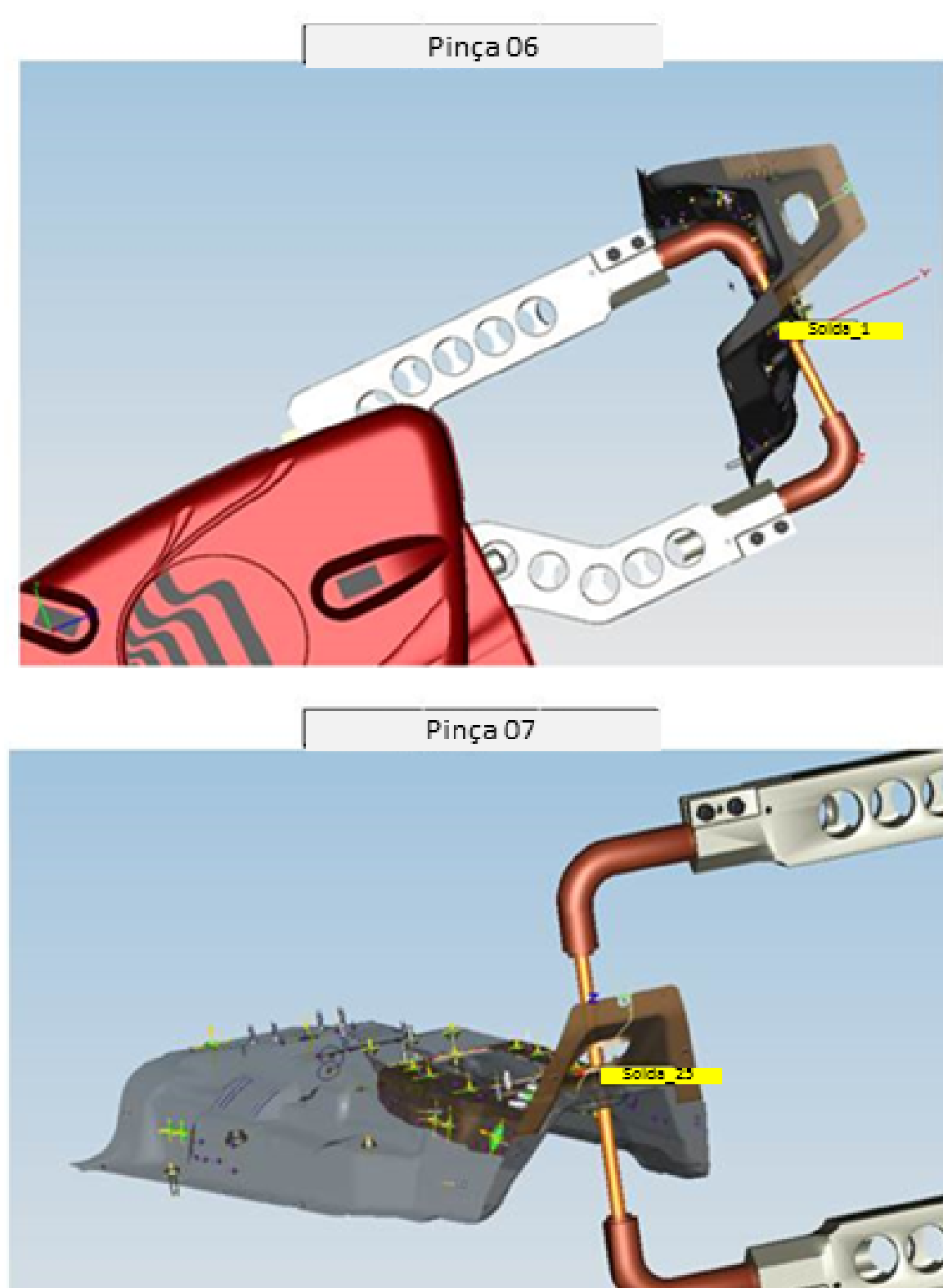


Figura 5.4.4 – Pinças de solda para o segundo caso em operação: "Pinça 06" e "Pinça 07"

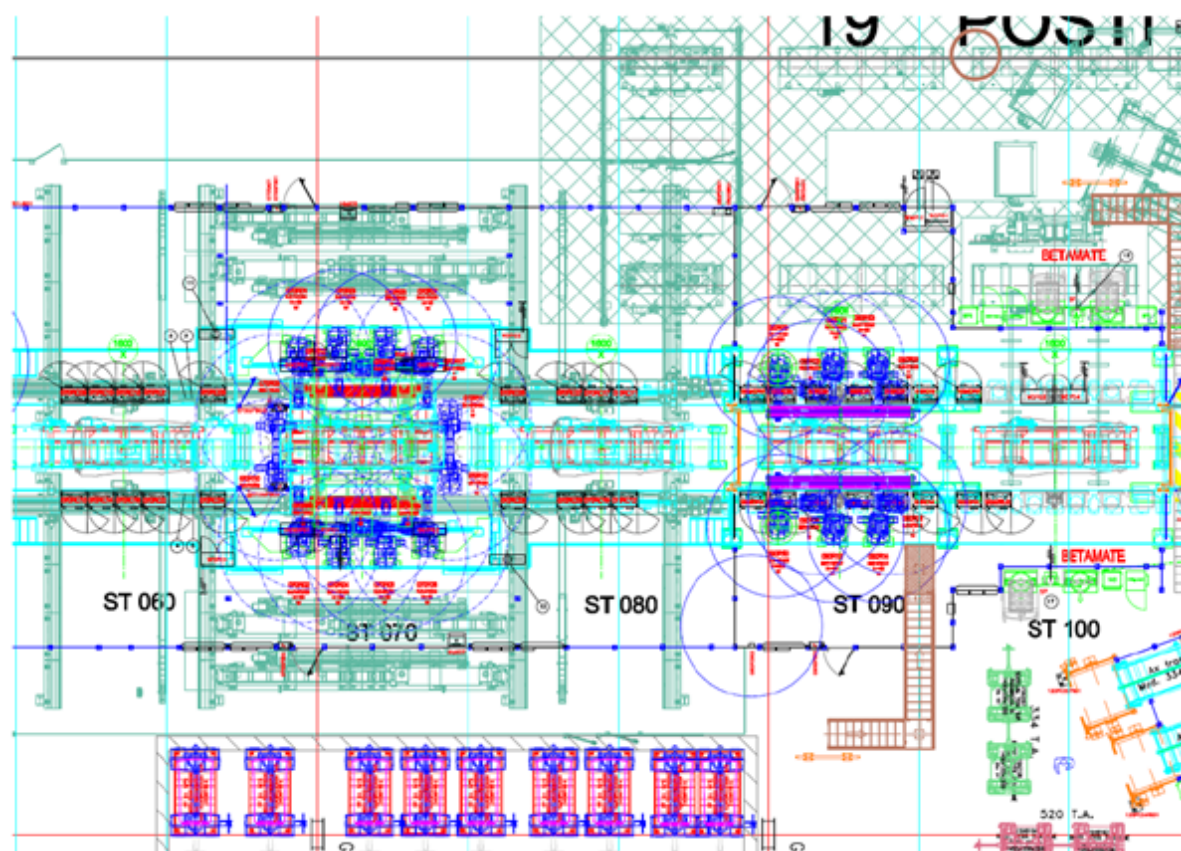


Figura 5.5.1 – Estação de trabalho na qual foi feita a simulação virtual da operação de soldagem a ponto.

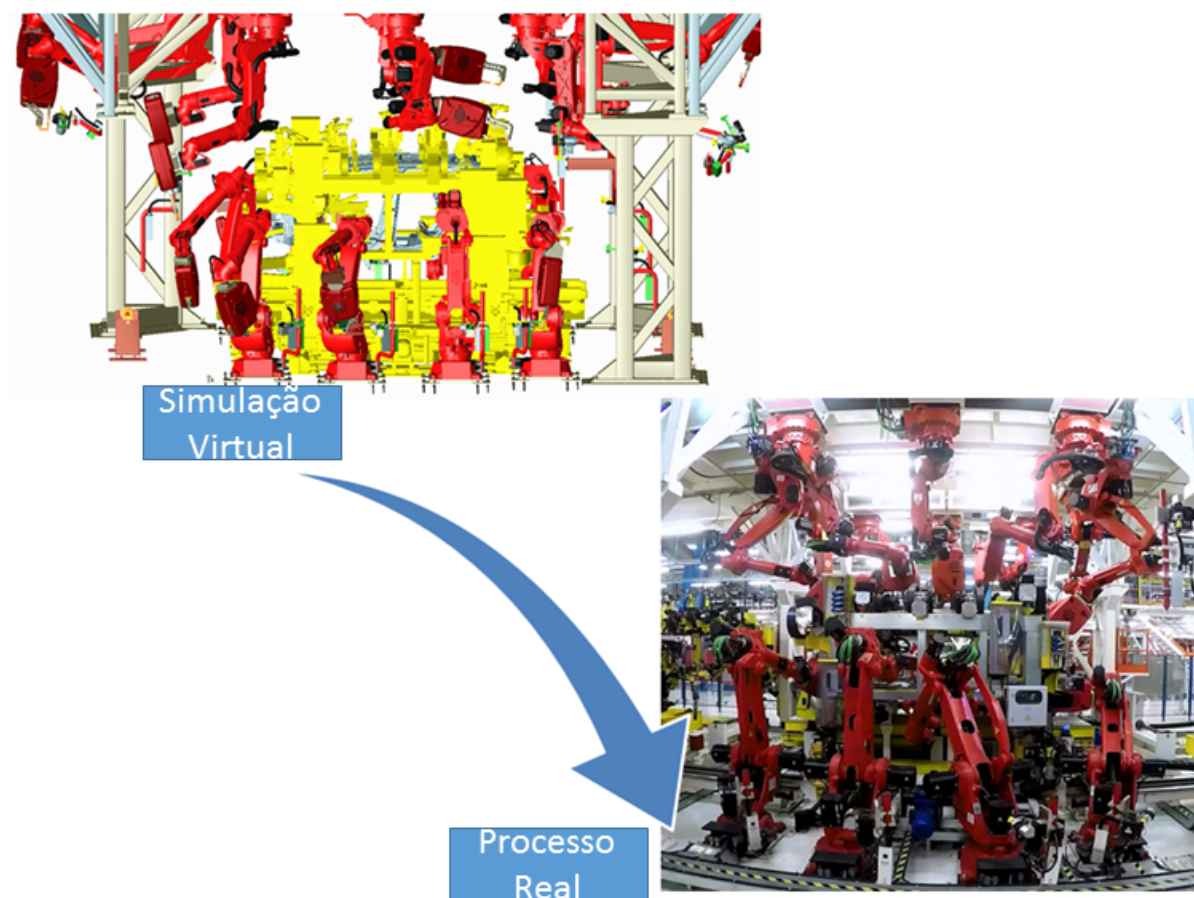


Figura 5.5.4 – Comparação da operação real com a simulação da operação de soldagem a ponto na ST 70.



Figura 5.5.5 – Fluxo de etapas da análise de um projeto em uma indústria automobilística. Reprodução de (9)

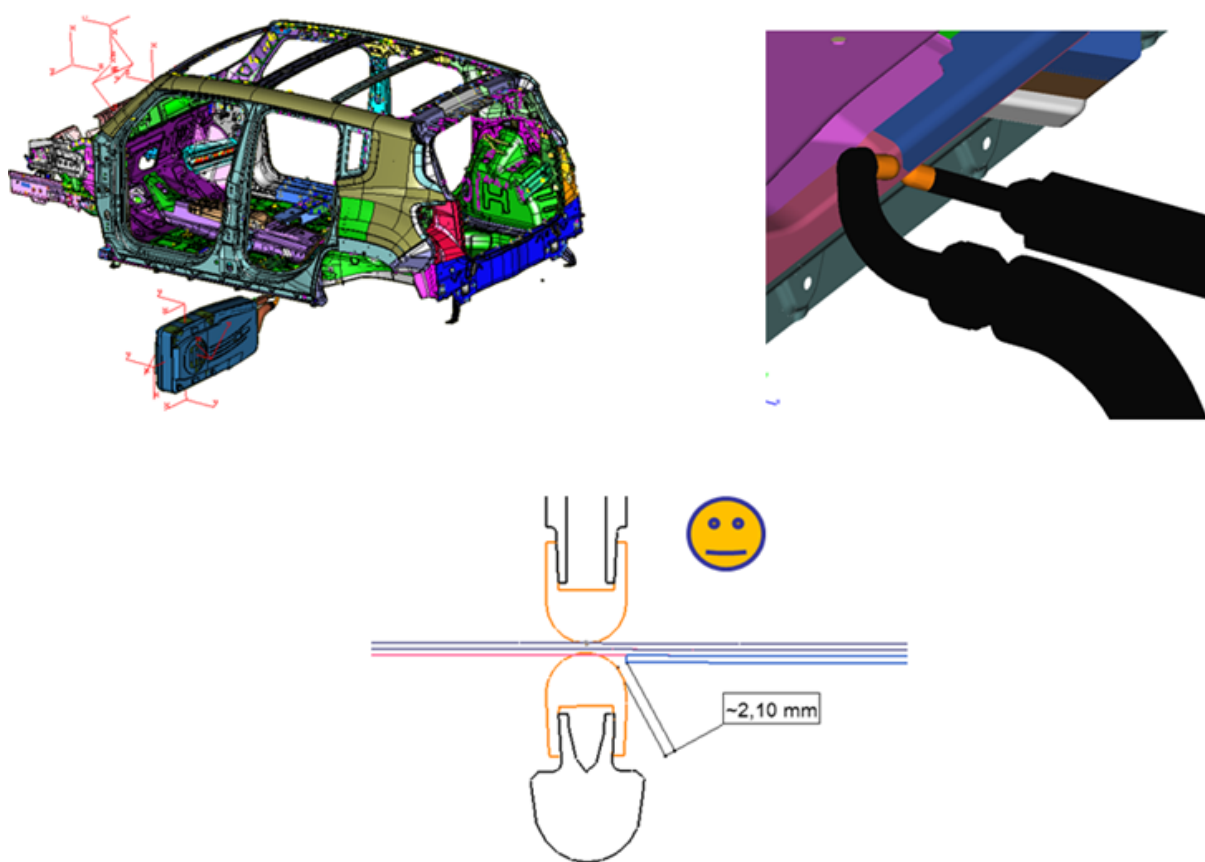


Figura 5.5.6 – Problema de folga avaliado na operação de soldagem a ponto no estudo de caso 3.

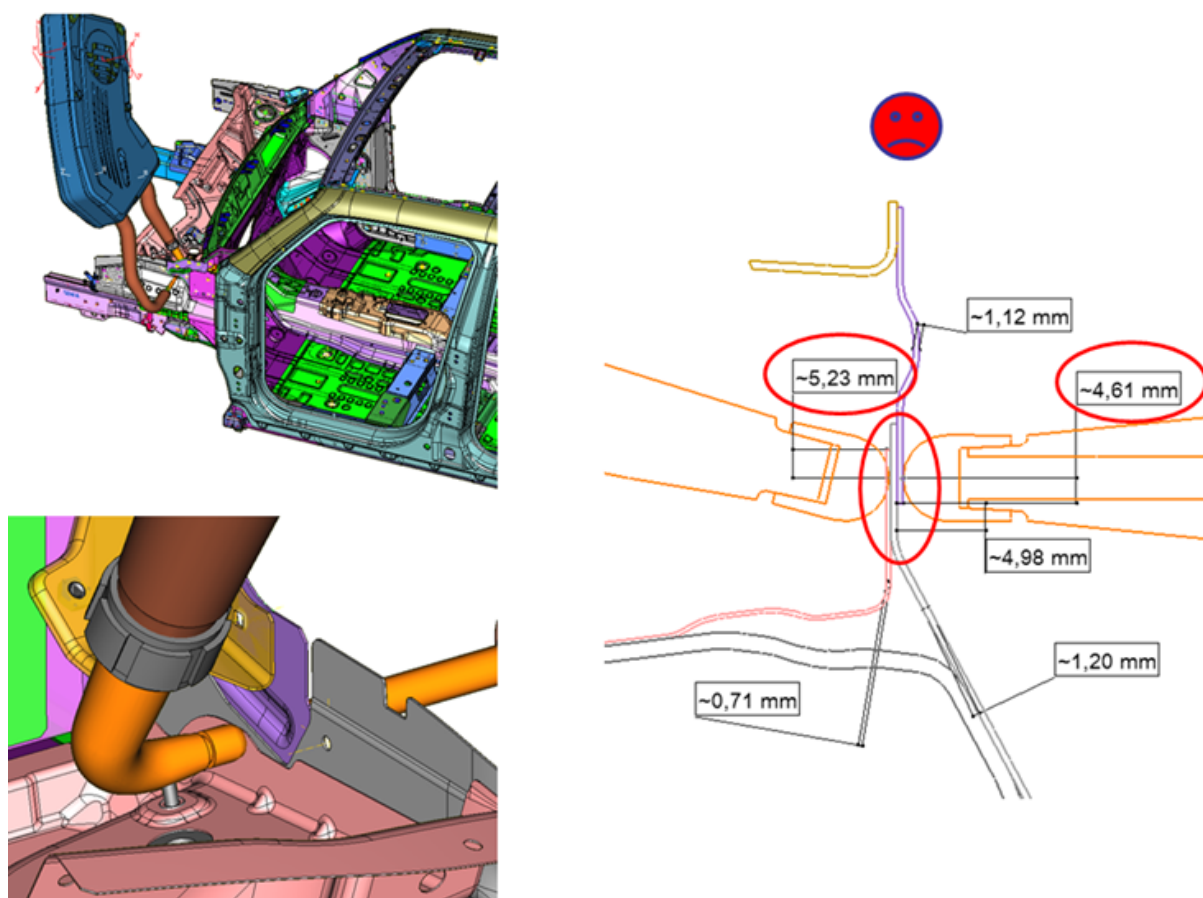


Figura 5.5.7 – Problema de folga e de superposição de chapas avaliado na operação de soldagem a ponto no estudo de caso 3.

6 RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO VIRTUAL PARA A MONTAGEM DAS PORTAS TRASEIRA E DIANTEIRA

6.1 Análise da montagem das dobradiças

Como o estudo de caso toma como base o modelo Jeep Renegade, o qual apresenta um processo de montagem semi-automático, antes da porta traseira ser montada na estrutura, há uma estação de trabalho anterior para as dobradiças de ambas as portas serem fixadas na estrutura do veículo (29). No total são oito dobradiças, posicionadas ao mesmo tempo pela estrutura fixadora, portanto duas dobradiças por porta. Deixando assim apenas um grau de liberdade livre. Com isso exercendo não apenas exercendo a função de servir como posterior referência para a montagem das portas, mas também para a correta funcionalidade dessas.

Na Figura 6.1.1 está ilustrado o posicionamento da dobradiça pela estrutura fixadora. Como pode-se observar estão representadas as duas referências na direção do eixo Y da estrutura do carro, uma referência no eixo X e uma para o plano YZ. Garantindo assim que apenas um grau de liberdade esteja livre.

Contudo, antes desse processo, existe uma etapa anterior. A referência usada pela estrutura fixadora na estrutura do veículo de forma a garantir o correto posicionamento e fixação das dobradiças. Essa no caso é orientada no corpo do carro com o auxílio de seis referências. Quatro referências para o eixo Y, uma para o plano XZ e uma para o eixo Z. No processo as referências no plano XZ e na direção Z são situadas primeiramente, e, então são dispostas as outras quatro referências no eixo Y, para dar início ao processo de estabelecimento das dobradiças.

Na Figura 6.1.3, está representada a operação referente às dobradiças, mais especificamente para a porta dianteira do lado direito, fornecendo com isso uma compreensão geral sobre o processo.

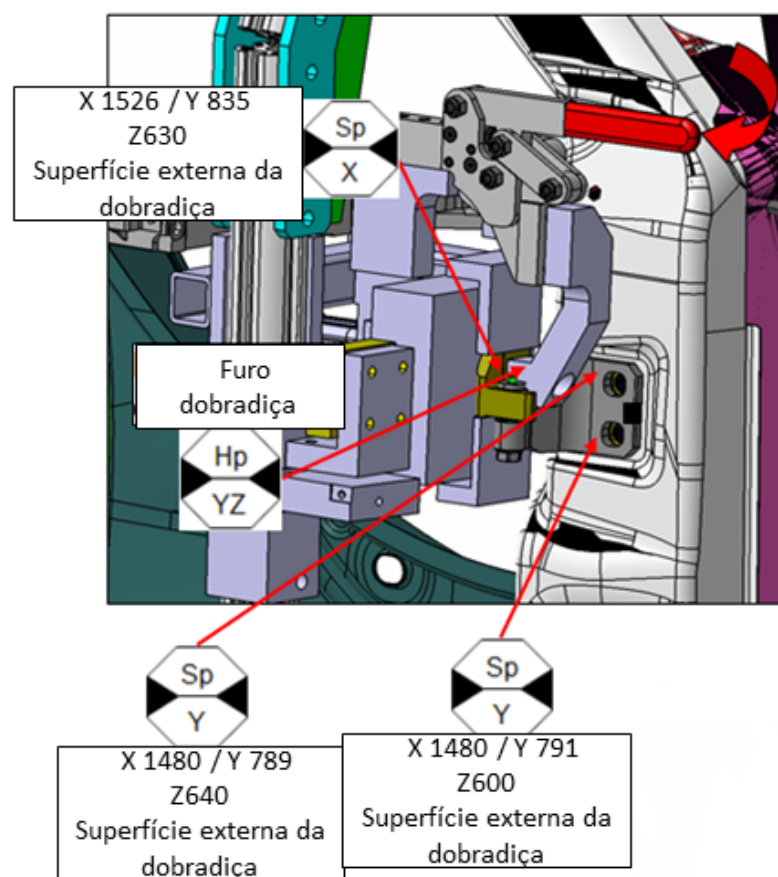


Figura 6.1.1 – Descrição das referências usadas na dobradiça das portas.

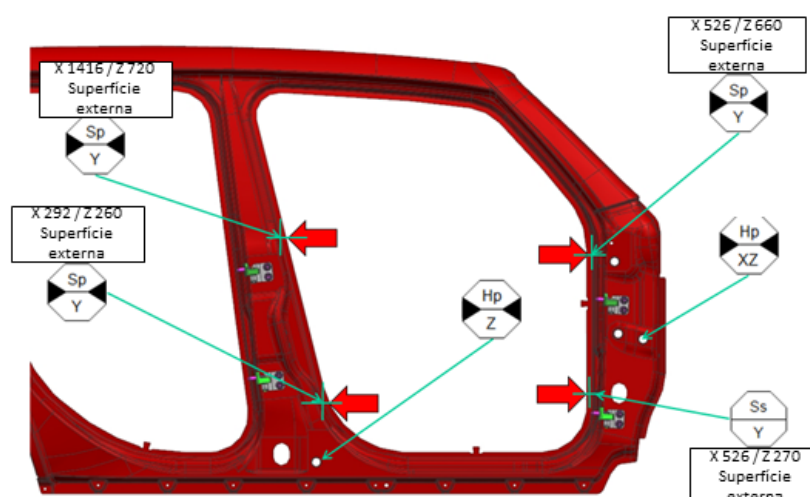


Figura 6.1.2 – Descrição das referências usadas para o posicionamento da estrutura fixadora das dobradiças.

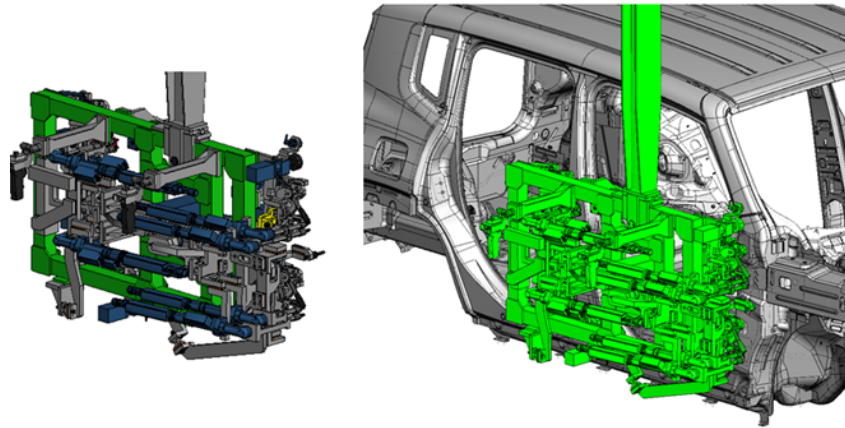


Figura 6.1.3 – Operação de estabelecimento das dobradiças das portas na estrutura do veículo.

6.2 Montagem das portas traseiras e dianteiras

Após a fixação das dobradiças na estrutura, essa segue para a estação de trabalho onde será feita a montagem de ambas as portas traseiras. Contudo, cabe mencionar nesse ponto uma consideração de cálculo. Como a montagem das portas na linha de montagem não é feita no primeiro momento por completo. Ou seja, a porta não possui vidro e os sistemas elétricos. É necessário realizar a montagem das portas com uma rotação específica em relação ao plano XY. De forma que essa rotação compense o momento realizado pelo peso dos componentes instalados posteriormente fora da estação de funilaria.

Assim como foi realizado para as dobradiças, a porta traseira é referenciada em relação à estrutura fixadora, de forma que o posicionamento no espaço da porta traseira seja conhecido. Na Figura 6.2.1 tal fato está evidenciado.

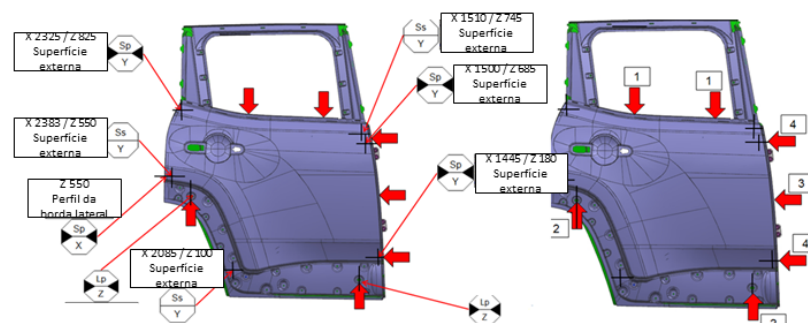


Figura 6.2.1 – Referências na porta traseira para a estrutura fixadora.

Com a orientação na porta traseira feita, essa é capturada pela estrutura fixadora, a qual usando as referências feitas na estrutura do veículo irá posicionar adequadamente a porta traseira. Após essa etapa, o operador (montagem semi-automática) com o auxílio de chaves de fenda automáticas acopladas na estrutura fixadora, localizadas na parte direita.

Na Figura 6.2.2 o momento do posicionamento está evidenciado, assim como a chave de fenda usada para a fixação. No caso a porta está evidenciada em vermelho e as dobradiças montadas anteriormente estão em azul.

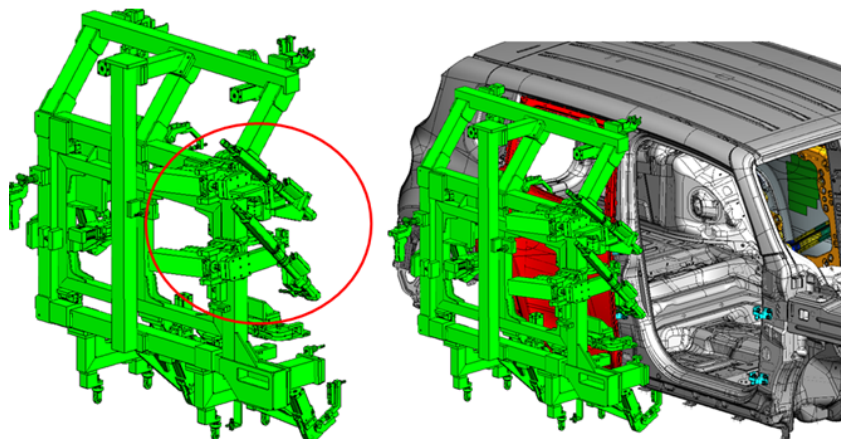


Figura 6.2.2 – Operação de posicionamento da porta traseira.

Com a etapa de montagem das portas traseiras apresentada, pode-se avaliar os resultados para o Jeep Renegade e se esses cumprem os requisitos estabelecidos em termos de folga e perfil entre o painel e a estrutura do veículo nas várias seções de corte feitas pelo software Process Simulate, de forma a se evitar os seguintes problemas:

- Presença de colisões;
- Problemas estéticos;
- Problemas funcionais em relação à abertura e ao fechamento do painel.

Um exemplo dessa verificação está ilustrado na Figura 6.2.3, onde a distância entre a porta traseira e a estrutura do veículo na seção estudada. Sendo que para garantir essa folga dentro dos limites estabelecidos, as referências usadas pela estrutura fixadora não são suficientes. Por conta disso na estrutura fixadora são acoplados espaçadores para garantir a tolerância exigida. Para a montagem da porta traseira, está em destaque na Figura 6.2.4 um dos espaçadores usados.

Com as dobradiças posicionadas e as portas traseiras fixadas, o próximo passo consiste na estação de trabalho da montagem das portas dianteiras. Usando os mesmos procedimentos de operação e referência da porta traseira. Contudo cabe mencionar um ponto diverso. Um dos pontos mais críticos para o posicionamento da porta dianteira é justamente a porta traseira, a qual servirá como referência para essa. Portanto, qualquer erro na estação anterior irá propagar para a seguinte. Na Figura 6.2.5, está exposto uma das verificações para a posição relativa entre as portas.

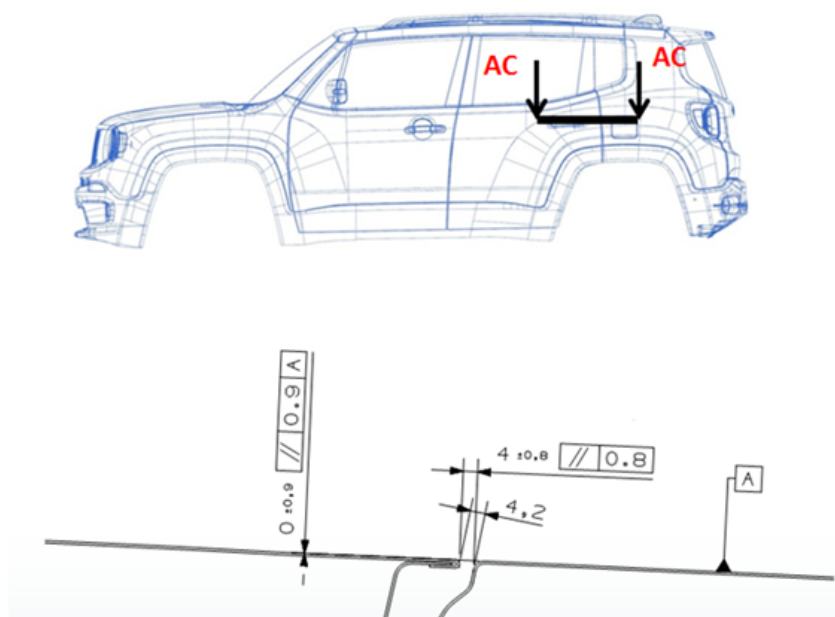


Figura 6.2.3 – Análise da seção do Jeep Renegade para a folga entre a porta traseira e a estrutura.

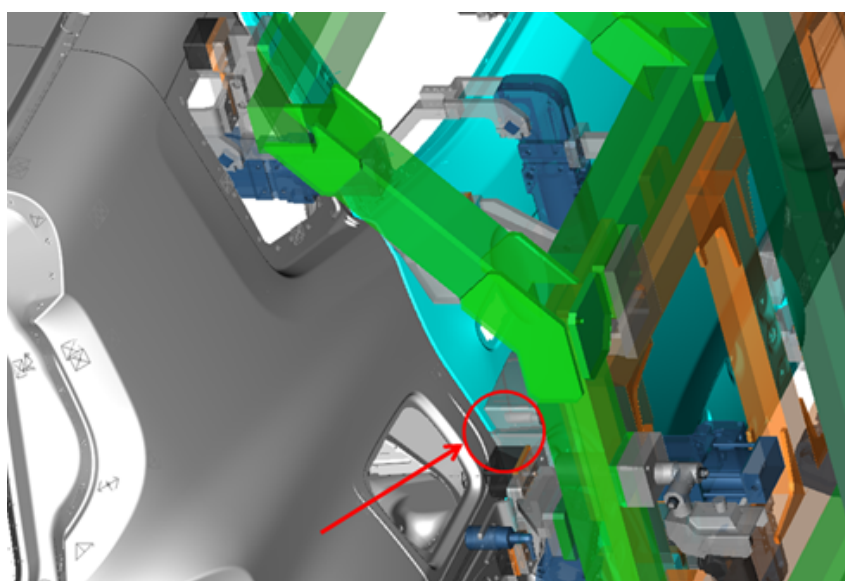


Figura 6.2.4 – Operação de montagem da porta traseira com o espaçador em destaque.

Sendo que a lógica de como tal posicionamento é feito, é a mesma da porta traseira. No caso da porta dianteira, são usados dois espaçadores entre as portas para garantir a folga necessária. Um na parte superior (Figura 6.2.6) e outro na parte inferior. Entretanto, vale comentar que os espaçadores visam corrigir o erro "in plane", sendo o erro "out of plane" corrigido apenas na parte da manufatura e caso exista verificado nessa etapa de simulação virtual por meio da comparação dos perfis.

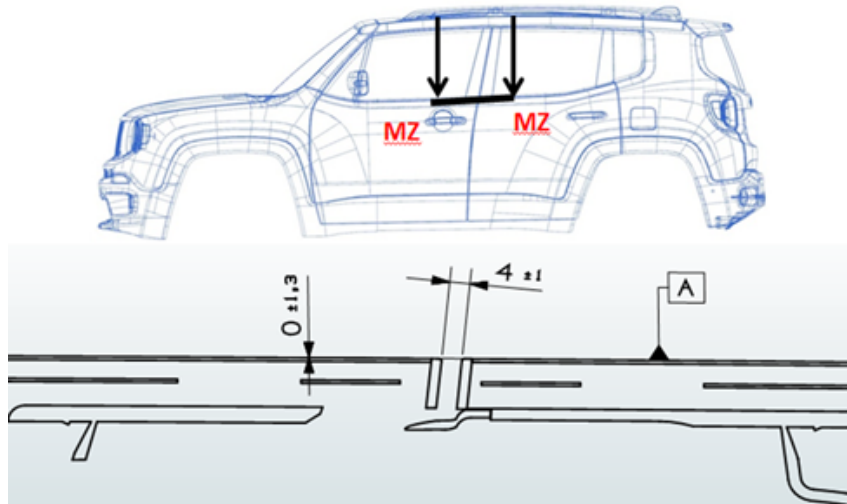


Figura 6.2.5 – Análise da posição relativa da porta dianteira com a porta traseira em uma seção específica.

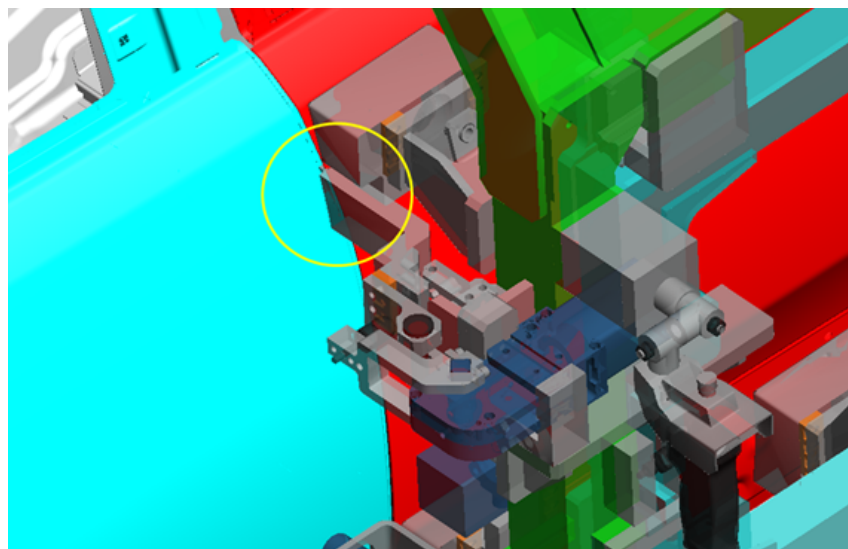


Figura 6.2.6 – Espaçador entre a porta dianteira e traseira.

6.3 Montagem automática das portas

Até o momento só foi apresentado a montagem semi-automática, dado que o modelo de estudo (Jeep Renegade) possui essa característica na linha de montagem. Onde a presença de um operador é necessária para ativar o mecanismo de fixação e as dobradiças são colocadas separadamente em uma etapa anterior.

No caso de um modelo como Fiat Panda, o processo de montagem das portas é automático. Portanto, não há participação de um operador e as dobradiças são fixadas na estrutura ao mesmo tempo que as portas, dado que a união de ambos os componentes foi realizada em uma etapa anterior. E devido a esses fatores, consiste em um processo mais rápido. A seguir estão expostos os passos de forma mais detalhada.

Na Figura 6.3.2, está apresentada a primeira estação. Na qual as duas dobradiças são fixadas na porta ao mesmo pela chave de fenda automática.

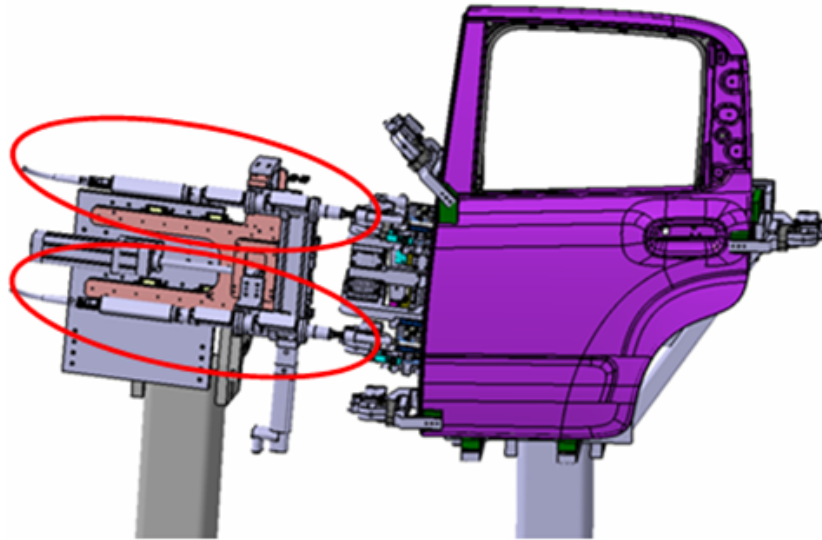


Figura 6.3.1 – Etapa de fixação das dobradiças na porta.

Para o posicionamento da porta com as dobradiças, usa-se a mesma lógica de referência para os sensores de distância da estrutura fixadora. Sendo que cada modelo possui seu próprio sistema de referência. No caso da Fiat Panda, esse está ilustrado na Figura 6.3.2.

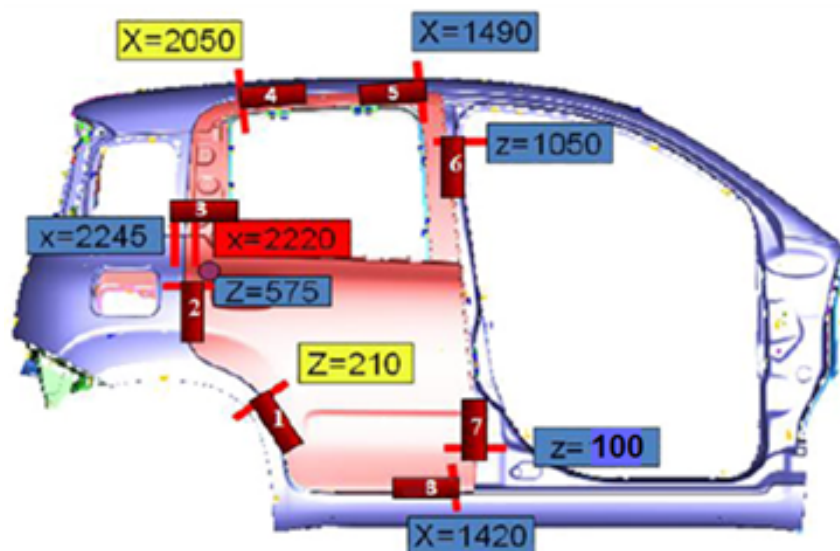


Figura 6.3.2 – Sistema de referência para os sensores de distância da estrutura fixadora do Fiat Panda.

Na última etapa, com a porta e dobradiças corretamente posicionadas, a estrutura irá acionar as chaves de fenda automáticas. No caso são dois parafusos por dobradiça,

portanto, para cada porta são quatro parafusos para realizar a estabelecimento da porta na estrutura do veículo (Figura 6.3.3). E para a estação de trabalho no total, então são oito parafusos no total, dado que ambos os lados são executados ao mesmo tempo.

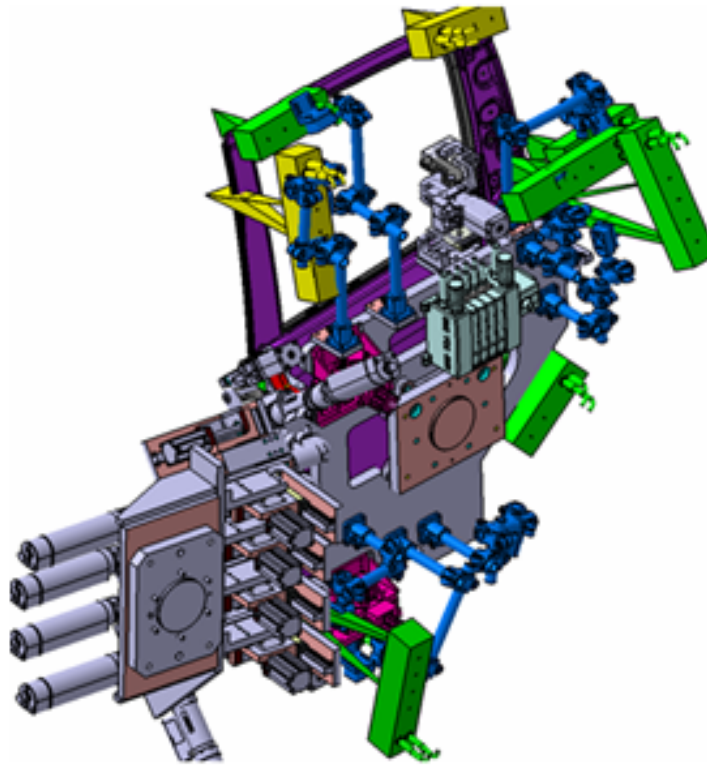


Figura 6.3.3 – Fixação das portas com as dobradiças na porta sem a estrutura evidenciada.

6.4 Análise da acessibilidade na operação de fixação

Até o momento a análise dos dados obtidos concentraram-se na posição do perfil da porta em relação à estrutura. Nessa seção, por outro lado, será abordado um outro aspecto da simulação virtual da factibilidade da operação. Mais especificamente, em termos da acessibilidade das ferramentas para realizar a fixação da porta nas dobradiças, já que o modelo Jeep Renegade utiliza-se de uma montagem semi-automática. Além disso, vale ressaltar que as ferramentas de fixação para a avaliação da factibilidade são as mesmas disponíveis para o Fiat Panda, presente também na linha de produção da planta ("Brown Field").

- Chave de fenda elétrica Bosch Rexroth ESA065S;
- Caixa com ponta macho de perfil XZN de diâmetro 9,65 mm para M10 com comprimento de 90 mm;
- Chave de fenda XZN para M10.

Para ambas as ferramentas mencionadas anteriormente a fixação não apresenta nenhum tipo de problema de acessibilidade para a porta traseira, não exigindo qualquer mudança e a formulação de um relatório para propor uma solução. Na Figura 6.4.1 o resultado da análise está apresentado para a chave e fenda elétrica.

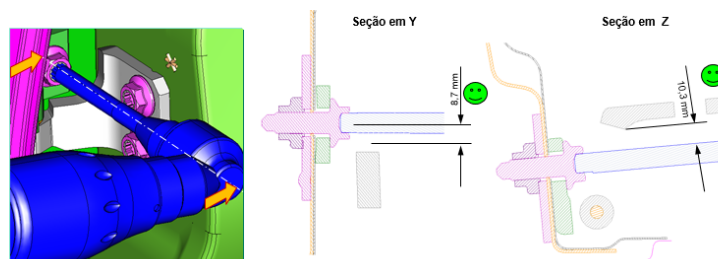


Figura 6.4.1 – Verificação da factibilidade da fixação da porta traseira com a chave de fenda elétrica Bosch Rexroth ESA065S .

Contudo, para a porta dianteira, com a ajuda da simulação, conclui-se a existência de um problema na acessibilidade da ferramenta para fixar a porta na dobradiça. Como pode-se observar na Figura 6.4.2, a chave de fenda ao se posicionar para fixar a porta dianteira, apresenta uma folga com a estrutura do veículo de apenas 1,3 mm, o que não respeita o requisito mínimo de 2 mm de folga entre uma ferramenta e o componente. Sendo que para a chave de fenda XZN para M10, ocorre também o mesmo problema, apresentando colisão. O que exige, portanto, a proposta de mudança de ferramenta para tornar o processo factível.

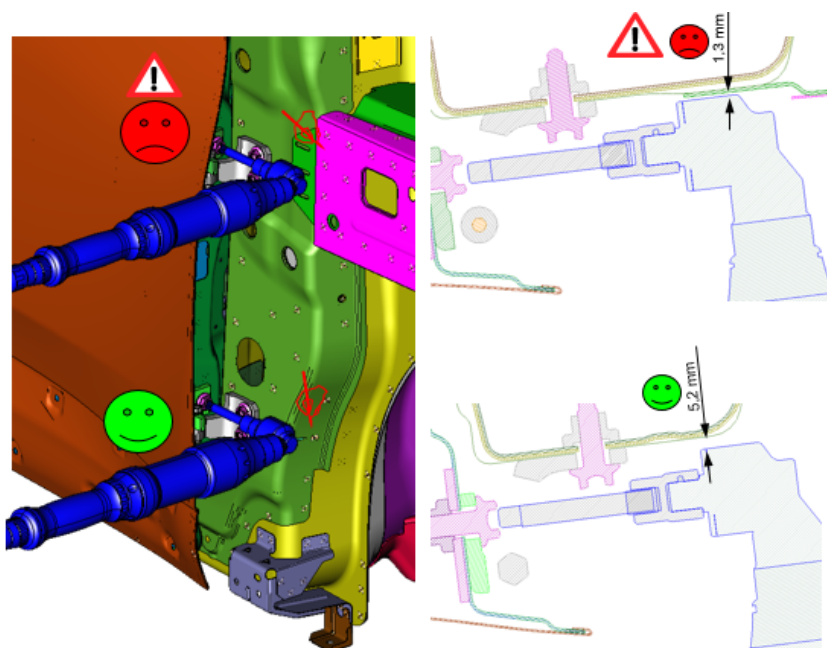


Figura 6.4.2 – Verificação da factibilidade da fixação da porta dianteira com a chave de fenda elétrica Bosch Rexroth ESA065S .

7 CONCLUSÕES

Com as principais características do uso da simulação virtual dentro de uma indústria automobilística expostas, assim como os resultados parciais da duas principais operações realizadas na estação de funilaria; nesse capítulo será discutido o panorama dos principais obstáculos encontrados e os possíveis pontos de melhoria no desenvolvimento dessa ferramenta no futuro.

Graças à utilização cada vez mais intensa de verificações virtuais nos processos, as indústrias, principalmente, as automobilísticas tiveram a possibilidade de aumentar de forma significativa a eficiência das operações. Especialmente em termos de tempo, custo, qualidade e automatização, sendo esses fatores a causa e, ao mesmo tempo, a consequência do aumento da competitividade no setor. Entretanto, apesar do enorme esforço direcionado para a aplicação dessa ferramenta no ciclo de vida do produto a ser realizado, ainda há uma grande variedade de adversidades a serem resolvidas. Como por exemplo, a falta de uma comunicação eficiente entre o setor responsável pela elaboração do CAD do projeto e o setor responsável pela verificação do mesmo em relação aos requisitos impostos.

No Capítulo 6, onde está apresentada a análise dos resultados da montagem das portas traseira e dianteira do Jeep Renegade, fica claro a presença de mudanças substanciais de projeto em uma fase já avançada do ciclo. No caso, quanto à factibilidade das fixações da portas por meio das ferramentas propostas. Acarretando com isso possíveis atrasos no cronograma e maiores custos de projeto devido as modificações tardias; sendo esse ponto crítico debatido de forma qualitativa já no Capítulo 2. Além disso no Capítulo 5, onde estão os resultados da verificação de soldagem a ponto, observa-se questões mais críticas ainda. Dado que a mudança da localização dos pontos de solda afeta as características mecânicas da peça final. Exigindo assim uma iteração mais complexa por conta dos cálculos estruturais a serem refeitos no projeto.

Portanto, fica evidente nesse quesito que apesar dos benefícios resultantes da simulação virtual, essa por si só não é suficiente para o desenvolvimento do produto. O que impõe como ponto de otimização os dados fornecidos por parte da Engenharia de Projeto. Assim como os dados de saída da verificação de factibilidade que serão usados na próxima iteração de projeto para a nova elaboração de um modelo de veículo e de operações na linha de montagem.

REFERÊNCIAS

- 1 VRS. *Virtual Reality Society*. <https://www.vrs.org.uk/>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 2.
- 2 SHALASH, E. *Optimal Automotive Door-Body Fitting for Body-in-White Assembly*. Dissertação (Mestrado) — University of Windsor, 1996. Citado 5 vezes nas páginas 6, 4, 23, 24 e 25.
- 3 European Aluminium Association. *Car Body Structures*. 2013. 1-84 p. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 5.
- 4 PARRY, G.; GRAVES, A. (Ed.). *Build To Order*. Springer London, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-225-8>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 5.
- 5 FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES. *New Product Development Process Overview*. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.
- 6 SIEMENS. *Tecnomatix Process Simulate Overview*. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 15.
- 7 SIEMENS. *Basic Course Robocad*. 2005. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 16.
- 8 MARASHI, M. P. Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties. *Science and Technology of Welding and Joining*, v. 18, p. 361–403, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 6, 17, 19 e 20.
- 9 FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES. *World Class Technology*. 2015. Citado 4 vezes nas páginas 6, 7, 20 e 46.
- 10 FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES. *Melfi Plant Virtual Tour for the first year of Jeep Renegade*. <http://www.jeeppress-europe.com/press/article/117195>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 26.
- 11 MUJBER T. SZECSI, M. H. T. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, p. 1834–1838, 2004. Citado na página 1.
- 12 EVANGELISTA, S. H. *Diagramas de Limite de Conformação Aplicados à Análise de Elementos Finitos de um Processo de Estampagem em Chapas Metálicas*. Dissertação (Mestrado) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2000. Citado na página 3.
- 13 PILVOUSEK, I. T. Stamping by using a virtual pressing tools. 2014. Citado na página 3.
- 14 JAYARAM YONG WANG, U. J. S. A virtual assembly design environment. *Proceedings IEEE Virtual Reality*, p. 172–179, 1999. Citado na página 3.

- 15 CHRYSSOLOURIS, G. et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 223, p. 451–462, 2009. Citado na página 4.
- 16 CHAPMAN, C. B.; PINFOLD, M. The application of a knowledge based engineering approach to the rapid design and analysis of an automotive structure. v. 32, p. 903–912, 2000. Citado na página 4.
- 17 SIEMENS. *Lifecycle visualization mockup*. (http://www.plm.automation.siemens.com/en.us/Images/3235_tcm1023-4788.pdf). Citado na página 11.
- 18 SIEMENS. *Tecnomatix*. (<https://www.plm.automation.siemens.com/en.us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/assembly/process-simulate.shtml>). Citado na página 12.
- 19 SIEMENS. *Robocad*. (<https://www.plm.automation.siemens.com/en.us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/robotics/robocad.shtml>). Citado na página 13.
- 20 VEVERKA, D. Lasers keep robots on the move. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996. Citado na página 18.
- 21 BARNES, I. P. T. Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 99, p. 62–71, 2000. Citado na página 18.
- 22 MAROPOULOS, P. G. Digital enterprise technology—defining perspectives and research priorities. *Journal of Engineering Manufacture*, v. 16, p. 467–478, 2003. Citado na página 21.
- 23 WOHLKE, G.; SCHILLER, E. Digital planning validation in automotive industry. *Computers in Industry*, v. 56, p. 393–405, 2005. Citado na página 21.
- 24 FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES. *New Product Development Process Overview*. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 33.
- 25 CLEMENTI PIER ANGELO PIAZZA, G. V. E. R. Competitive assembly: Brown or green field site. *International Journal Automotive Technology and Management*, v. 5, p. 351–373, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 22, 27 e 28.
- 26 WEN-FENG, Z.; JIANG-QI, Z. Optimal method for auto-body closure panel fitting using hausdorff distance criteria. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 5, p. 1019–1029, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- 27 B., B. Best fitting of three dimensional bodies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1984. Citado na página 23.
- 28 HU, S. Impact of 100% measurement data on statistical process control (spc) in automobile body assembly. *American Society of Mechanical Engineers*, v. 44, p. 443–448, 1990. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- 29 HU, S. J. Stream of variation theory for automotive body assembly. *Annals of CIRP*, v. 46, p. 1–4, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 49.

A PLANILHA ÁRVORE DE ARMAÇÃO: ESTUDO DE CASO

No estudo de caso desenvolvido aqui será apresentado apenas uma fração do procedimento completo, dado que esse fugiria ao escopo da tese. No caso, o estudo terá como foco a montagem do túnel conectado ao chão do veículo (Figura A.0.1). Como pode-se observar, nessa fração do relatório, são apresentados apenas quatro componentes: túnel, parafuso, porca e componente do túnel.

FIAT S.p.A. M.E. Advanced M.E. Product		parimento ant CS										
Estabelecimento : Ref		120-334 DSX-GDX-2VGI		matricula	coddep	Fato(Mr/Comprado(B)	material - código	Qtd	espessura	peso	TCAE	
				parte do túnel								
		411568	51989224	M	FE705TR8P F ZN12S	1	1.19	5.683	FA00AAS24909			
				porca MB								
			1/14459/13	B		11			FA00AAM12728			
				parafuso M6x35								
		30454	1/40086/10	B		2			AQV12313			
				parte do túnel anterior								
		4115625	51989225	B	FE608 DP F	1	1.26	1.367	FA00AAS24914	52		

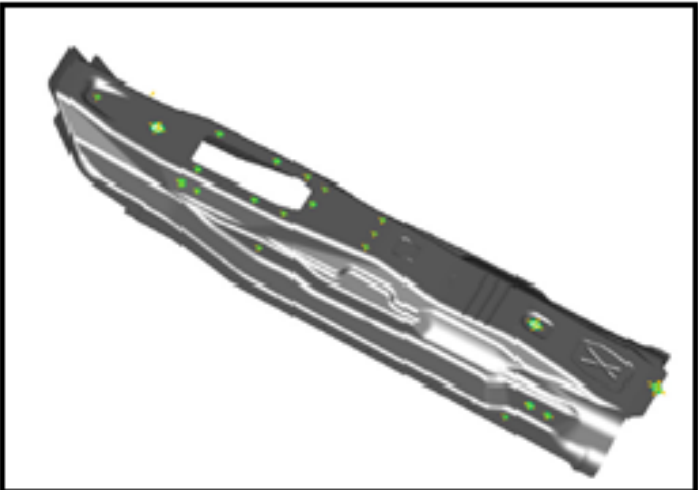


Figura A.0.1 – Relatório da Planilha Árvore de Armação do túnel.

Como é exposto na Figura A.0.1, o primeiro passo consiste no posicionamento das porcas na estrutura do túnel (Figura A.0.2). Cabe ressaltar nesse ponto que os detalhes de cada operação não serão explorados, somente a sequência em si.

Após essa etapa, o segundo passo resume-se ao posicionamento e fixação dos parafusos na estrutura do túnel (apenas dois no caso), que podem ser visualizados na Figura A.0.3.

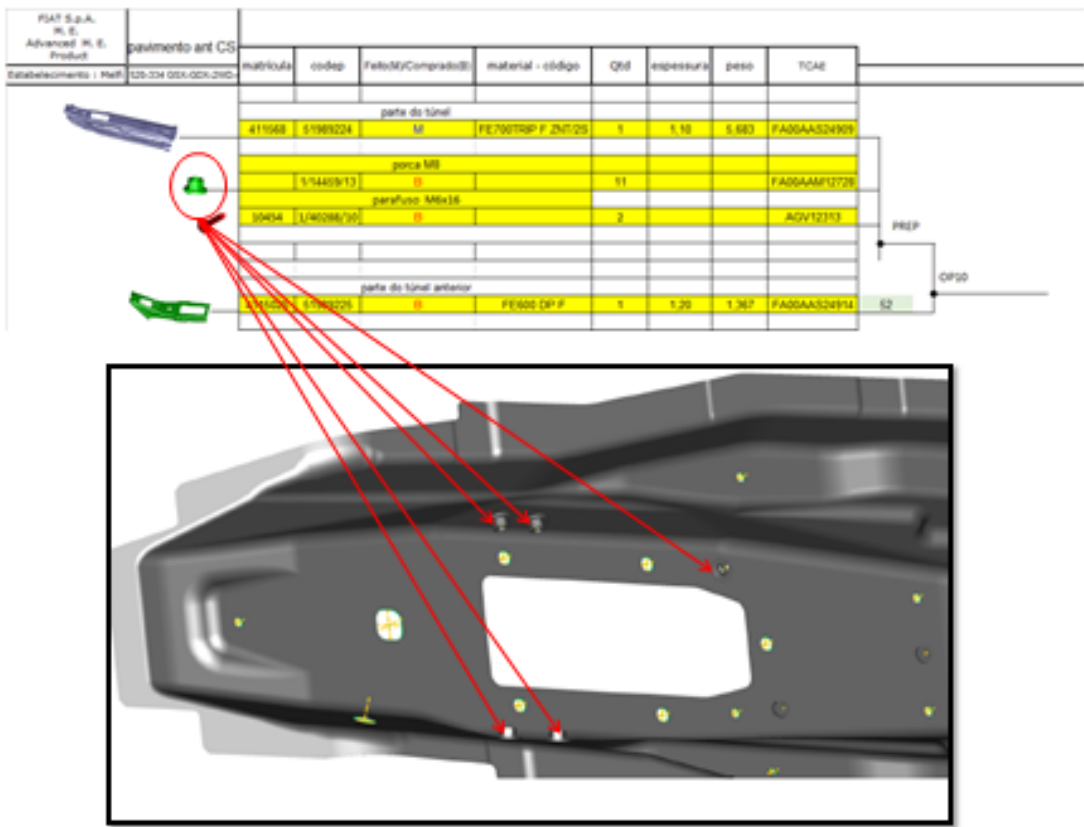


Figura A.0.2 – Posicionamento das porcas na estrutura.

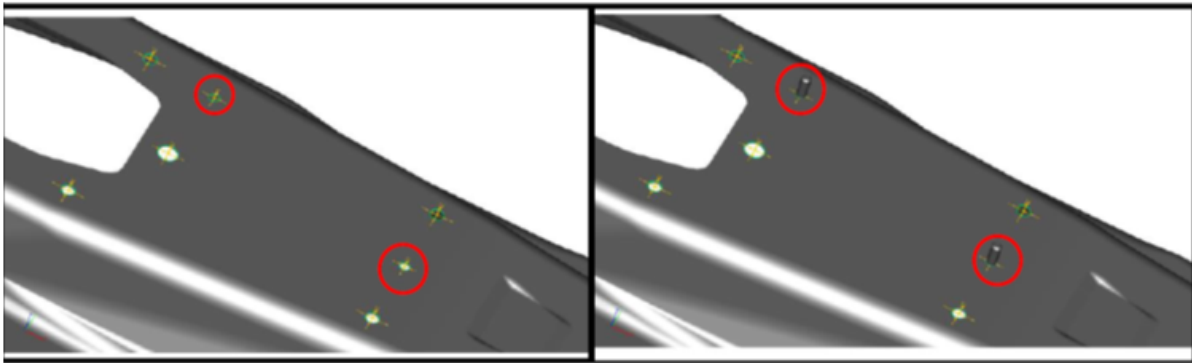


Figura A.0.3 – Posicionamento dos parafusos na estrutura.

O último passo exposto na Figura A.0.4 refere-se a uma operação diferente. A união de dois componentes (túnel e componente do túnel) por meio da soldagem a ponto (abordada de forma mais aprofundada em outros capítulos da tese).

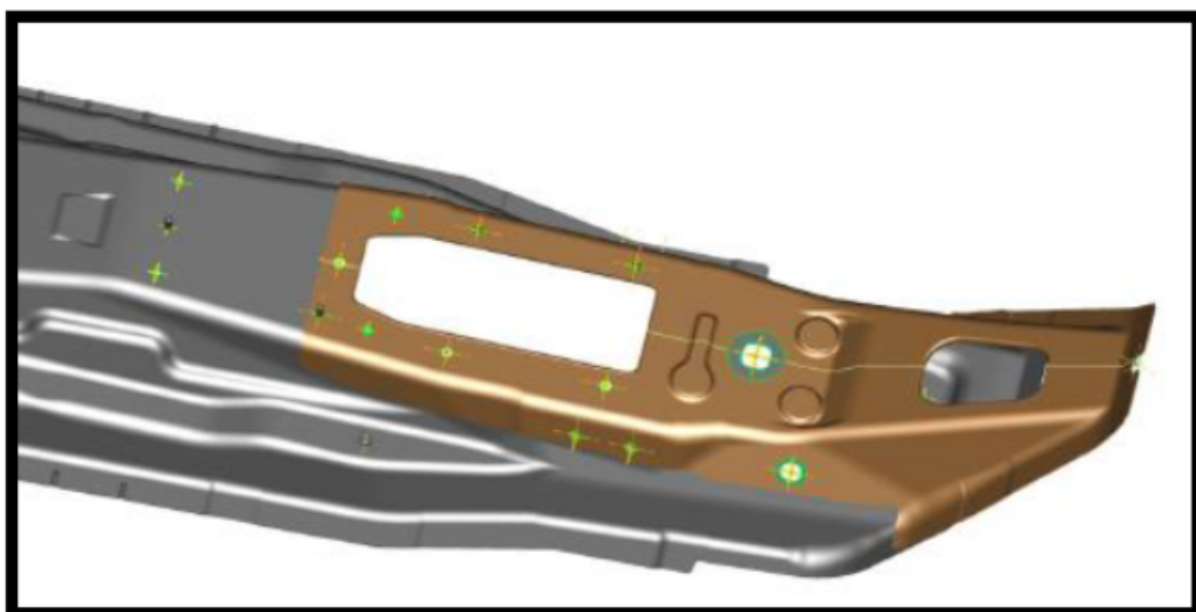


Figura A.0.4 – Último passo da estrutura do túnel.