



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO  
(UFCAT)  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (PPGEP)**

**APLICAÇÃO DO ESTUDO DE TEMPOS,  
MOVIMENTOS E MÉTODOS PARA MELHORIA  
DE PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE  
SOLDAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS  
AGRÍCOLAS**

**DAVID DA SILVA BORGES**

**Catalão – GO  
2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação      ☐ Tese      ☐ Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

DAVID DA SILVA BORGES

#### 3. Título do trabalho

**APLICAÇÃO DO ESTUDO DE TEMPOS, MOVIMENTOS E MÉTODOS PARA MELHORIA DE PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE SOLDAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM      ☐ NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Andre Alves De Resende, Professor do Magistério Superior**, em 20/09/2023, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **DAVID DA SILVA BORGES, Discente**, em 20/09/2023, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4056021** e o código CRC **E68C0D36**.

---

Referência: Processo nº 23070.044333/2023-17

SEI nº 4056021

**DAVID DA SILVA BORGES**

**APLICAÇÃO DO ESTUDO DE TEMPOS, MOVIMENTOS  
E MÉTODOS PARA MELHORIA DE PRODUTIVIDADE  
DO PROCESSO DE SOLDAGEM EM UMA FÁBRICA DE  
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais.

**Orientador:** Prof. Dr. André Alves de Resende

**Catalão – GO**

**2023**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Borges, David da Silva  
APLICAÇÃO DO ESTUDO DE TEMPOS, MOVIMENTOS E  
MÉTODOS PARA MELHORIA DE PRODUTIVIDADE DO PROCESSO  
DE SOLDAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS /  
David da Silva Borges. - 2023.  
80, 16 f.

Orientador: Prof. Dr. André Alves de Resende.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão,  
Faculdade de Engenharia, Catalão, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, Catalão, 2023.

1. Produtividade. 2. tempo. 3. movimentos. 4. métodos. 5.  
soldagem. I. Resende, André Alves de, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **33** da sessão de Defesa de Dissertação de **DAVID DA SILVA BORGES**, que confere o título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração em Engenharia de Operações e Processos Industriais.

"Banca Examinadora de Qualificação/Defesa Pública de Dissertação/Tese realizada em conformidade com a Portaria da CAPES n. 36, de 19 de março de 2020, de acordo com seu segundo artigo: Art. 2º. A suspensão de que trata esta Portaria não afasta a possibilidade de defesas de tese utilizando tecnologias de comunicação à distância, quando admissíveis pelo programa de pós-graduação stricto sensu, nos termos da regulamentação do Ministério da Educação."

Aos vinte e quatro dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três, a partir das 14 horas, na sala virtual (<https://meet.google.com/yjd-gfkq-xho?hs=224>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese/Dissertação intitulada **"APLICAÇÃO DO ESTUDO DE TEMPOS, MOVIMENTOS E MÉTODOS PARA MELHORIA DE PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE SOLDAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS"** nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor ANDRÉ ALVES DE RESENDE (PPGEP/UFCAT) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor ROGÉRIO SANTANA PERUCHI (PPGEP/UFPA), membro titular externo; Professor Doutor MARCO PAULO GUIMARÃES (PPGEP/UFCAT), membro titular interno. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor André Alves de Resende, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e quatro dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três.

**TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA**

Não houve sugestão de alteração



Documento assinado eletronicamente por **Andre Alves De Resende, Professor do Magistério Superior**, em 24/08/2023, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marco Paulo Guimarães, Professor do Magistério Superior**, em 24/08/2023, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Santana Peruchi, Usuário Externo**, em 25/08/2023, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3947558** e o código CRC **D554E392**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.044333/2023-17

SEI nº 3947558

Os Programas de Pós-Graduação *stricto sensu* em funcionamento na Universidade Federal de Catalão (UFCAT), em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, continuam provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás (UFG), por isso, todos os elementos pré-textuais do trabalho apresentado estão identificados como Universidade Federal de Goiás/Universidade Federal de Catalão em implantação, em função da migração da BDTD ter ocorrido a partir de 16 de agosto de 2021, assim como pelo fato das pesquisas e produtos serem realizados na UFCAT.

À minha esposa pela inspiração,  
incentivo, exemplo diário de persistência  
e otimismo na busca pelo conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me abençoado com o dom da vida e, assim, poder aproveitar todas as oportunidades de estender e ampliar o conhecimento.

Agradeço ao meu orientador, professor André Alves de Resende, pela orientação decisiva, persistente e essencial para tornar realidade este trabalho. Aos demais professores e técnicos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço à minha esposa Aline Gonçalves dos Santos, por me inspirar, apoiar e incentivar diariamente.

Agradeço à minha família e amigos por todo suporte e compreensão.

Agradeço à Universidade Federal de Catalão por proporcionar e estruturar este programa de pós-graduação.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, em especial, aos meus gestores Sergio Bittencourt e Eudes Correia por me apoiarem ao longo de todo desenvolvimento do trabalho de mestrado.

BORGES, D. S. Aplicação do Estudo de Tempos, Movimentos e Métodos para Melhoria de Produtividade do Processo de Soldagem em uma Fábrica de Máquinas Agrícolas. 95p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO. 2023.

## RESUMO

O setor de agronegócio no Brasil apresenta grande relevância para a economia brasileira, com alta taxa de produção e exportação. Assim, tem-se que a indústria de máquinas agrícolas torna-se relevante para atender esse setor em constante crescimento. Na literatura, há poucos estudos que abordam essa indústria, em especial que investigam a produtividade dessas empresas. Portanto, com o objetivo de aumentar a produtividade do processo de soldagem de uma estação de trabalho de uma fábrica de máquinas agrícolas, este trabalho aplicou um estudo de tempo, movimentos e métodos. O objeto de estudo foi escolhido com base na análise do índice de produtividade, sendo selecionada a estação de trabalho com menor valor desse indicador. Foram avaliadas sete amostras de filmagens do processo disponibilizadas pela empresa. A partir dessas filmagens e de observações *in loco*, foram elaborados fluxogramas, diagrama de fluxo de processos, diagrama de espaguete e gráficos homem-máquina, além do cálculo do tempo padrão. Os dados obtidos indicaram que o soldador, que possuía alto nível de qualificação, executava todas as atividades da estação, incluindo as menos complexas, e percorria longas distâncias devido à disposição inadequada das embalagens, equipamentos e máquinas na estação de trabalho. Além disso, constatou-se que as três fontes de soldagem ficavam inativas durante um longo período, mas consumindo energia. Com base nessas informações, foi proposto um novo *layout* e fluxo de processo, que incluiu a contratação de um colaborador de nível de qualificação menor para executar as atividades menos complexas. O tempo padrão para este cenário foi estimado e concluiu-se que as propostas feitas no estudo poderiam levar a melhorias significativas, como a redução de 35% do tempo padrão, em 9% no custo com mão de obra, em 11% na distância percorrida, em 12% na área da estação de trabalho e 39% no consumo e custo com fontes de soldagem em período inativo. Portanto, o estudo de tempo, movimentos e métodos mostrou-se uma ferramenta valiosa para a melhoria da produtividade.

Palavras-chave: produtividade, tempo, movimentos, métodos, soldagem

BORGES, D. S. Application of Time, Motions and Methods Study to Improve the Welding Process Productivity in an Agricultural Machinery Factory. 95p. Masters Dissertation. Federal University of Goiás, Catalão, GO. 2023.

## **ABSTRACT**

The agribusiness sector in Brazil is highly relevant to the Brazilian economy, with a high rate of production and exports. Therefore, the agricultural machinery industry becomes relevant to serve this constantly growing sector. In the literature, there are few studies that address this industry, especially those that investigate the productivity of these companies. In order to increase the productivity of the welding process of an agricultural equipments factory and related work station, this work applied a study of time, movements and methods. The object of study was chosen based on the analysis of the productivity index, and the work station with the lowest value of this indicator was selected. Seven film samples of the process were evaluated and made available by the company for analysis. From these filming and on-site observations, the flowcharts, process flow diagram, spaghetti diagram, and man-machine graphs were elaborated, as well as standard time calculation. The data obtained indicated that the welder, who had a high level of qualification, performed all activities of the station, including the least complex ones, and traveled long distances due to the improper disposition of packaging, equipment and machines in the work station. In addition, all three welding sources were found to be inactive for a long period of time, but consuming energy. Based on this information, a new layout and process flow was proposed, which included hiring a lower-skill level employee to perform the less complex activities. The standard time for this scenario was estimated and it was concluded that the proposals made in the study could lead to significant improvements, such as a 35% reduction in standard time, 9% reduction in labor cost, 11% in distance traveled, 12% in the area of the work station, and 39% reduction in consumption and cost with inactive weld sources. Therefore, the study of time, movements and methods proved to be a valuable tool for improving productivity.

Keywords: productivity, time, motion, methods, welding

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação brasileira (CNI, 2022) .....                                                                                | 20 |
| Figura 2 – Circuito de soldagem GMAW (Adaptado de PAL; PAL, 2011).....                                                                                                                    | 24 |
| Figura 3 – Os subciclos que compõem o tempo total do ciclo. Adaptado de (MILTENBURG; SPARLING, 1996) .....                                                                                | 26 |
| Figura 4 – Relação entre o estudo de tempo e método e a produtividade, adaptado de (KANAWATY, 1992) .....                                                                                 | 28 |
| Figura 5 – Objetivos do estudo de tempos e movimentos (Autoria própria) .....                                                                                                             | 28 |
| Figura 6 – Etapas para escolha do melhor método .....                                                                                                                                     | 28 |
| Figura 7 – Símbolos para criação de gráfico de fluxo de processo (ASME, 1957) ...                                                                                                         | 30 |
| Figura 8 – Formulário padronizado para diagrama de fluxo de processo (PEINADO e GRAEML, 2007) .....                                                                                       | 30 |
| Figura 9 – Tipos de fluxogramas, em que MP é a matéria prima e PA é o produto acabado (PEINADO e GRAEML, 2007).....                                                                       | 31 |
| Figura 10 – Diagrama de Espaguete em uma fábrica de detonadores, mostrando fluxo dos operados entre máquinas, estoque e atividades administrativas (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017) ..... | 32 |
| Figura 11 – Gráfico homem-máquina (KHAN, 2004).....                                                                                                                                       | 33 |
| Figura 12 – Etapas de desenvolvimento do estudo (Elaboração própria).....                                                                                                                 | 41 |
| Figura 13 – Valores de produtividade das 20 estações de trabalho do processo de soldagem no período de janeiro a junho de 2022 (Elaboração própria) .....                                 | 45 |
| Figura 14 – Representação ilustrativa do <i>layout</i> em vista superior da estação em estudo (Elaboração própria).....                                                                   | 46 |
| Figura 15 – Desenho representativo do chassi de uma máquina agrícola, em vista superior, relacionando o respectivo gabarito para soldagem (Elaboração própria) ...                        | 47 |
| Figura 16 – Fluxograma geral das atividades da estação de trabalho (Autoria própria) .....                                                                                                | 48 |
| Figura 17 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 1 (Autoria própria) .....                                                                                                     | 49 |
| Figura 18 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 2 (Autoria própria) .....                                                                                                     | 50 |
| Figura 19 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 3 (Autoria própria) .....                                                                                                     | 51 |
| Figura 20 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 4 (Autoria própria) .....                                                                                                     | 52 |
| Figura 21 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 5 (Autoria própria) .....                                                                                                     | 53 |
| Figura 22 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 1, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 54 |
| Figura 23 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 2, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 55 |
| Figura 24 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 3, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 56 |
| Figura 25 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 4, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 58 |
| Figura 26 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 5, conjunto rebitado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                             | 60 |

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 27 – Diagrama de espaguete para o processo atual (Autoria própria) .....                                                                                                         | 61 |
| Figura 28 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 1 (Autoria própria).....                                                                                                              | 63 |
| Figura 29 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 2 (Autoria própria).....                                                                                                              | 64 |
| Figura 30 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 3 (Autoria própria).....                                                                                                              | 66 |
| Figura 31 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 4 .....                                                                                                                               | 67 |
| Figura 32 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 5 (Autoria própria).....                                                                                                              | 68 |
| Figura 33 – Tempo total de inatividade das fontes de soldagem durante um ciclo de trabalho (Autoria própria) .....                                                                      | 69 |
| Figura 34 – Projeto do <i>Layout</i> proposto .....                                                                                                                                     | 73 |
| Figura 35 – Fluxograma proposto, considerando dois soldadores, um de nível 1 e um de nível 4 (Autoria própria) .....                                                                    | 75 |
| Figura 36 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 5, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                        | 76 |
| Figura 37 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                        | 76 |
| Figura 38 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                        | 77 |
| Figura 39 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                        | 77 |
| Figura 40 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                        | 78 |
| Figura 41 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                        | 79 |
| Figura 42 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                        | 80 |
| Figura 43 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                        | 80 |
| Figura 44 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                        | 81 |
| Figura 45 – Gráfico do tempo de processo em cada gabarito para cada soldador no cenário proposto (Autoria própria).....                                                                 | 82 |
| Figura 46 – Gráfico da distância a ser percorrida pelos soldadores no cenário proposto (Autoria própria) .....                                                                          | 82 |
| Figura 47 – Gráfico de Gantt para as atividades executadas nos 5 gabaritos, pelos dois soldadores (Autoria própria) .....                                                               | 84 |
| Figura 48 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário proposto (Autoria própria) .....                                                                          | 85 |
| Figura 49 – Gráfico do consumo em kWh pelas fontes de soldagem e seu respectivo custo, em período inativo, no cenário proposto (Autoria própria) . <b>Erro! Indicador não definido.</b> |    |
| Figura 50 – Diagrama de espaguete com layout proposto (Autoria própria).....                                                                                                            | 86 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Ferramentas que podem ser empregadas na análise do problema.....                               | 33 |
| Tabela 2 – Coeficiente de distribuição normal .....                                                       | 37 |
| Tabela 3 - Coeficiente $d_2$ para o número de cronometragens iniciais.....                                | 38 |
| Tabela 4 – Número de amostras (N) necessárias considerando o grau de confiança de 95 % e erro de 5% ..... | 48 |
| Tabela 5 – Tempo normal para a estação de trabalho analisada.....                                         | 70 |
| Tabela 6 – Tempo padrão para o processo desenvolvido na estação analisada.....                            | 71 |
| Tabela 7 – Custos com mão de obra para o cenário atual e proposto .....                                   | 83 |
| Tabela 8 – Tempo padrão estimado para o cenário proposto .....                                            | 87 |
| Tabela 9 – Sumário dos resultados obtidos no estudo.....                                                  | 87 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME – *American Society of Mechanical Engineers*;

GMAW - *Gas Metal Arc Welding*;

kWh - Quilowatt-hora;

MIG/MAG - *Metal Inert Gas/Metal Active Gas*;

TFP – *Total Factor Productivity*.

## SUMÁRIO

|                                                             |                                      |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                         | 17                                   |
| 1.1    Objetivos .....                                      | 19                                   |
| 1.2    Justificativa .....                                  | 19                                   |
| 1.3    Contribuições .....                                  | 21                                   |
| 1.4    Estrutura do trabalho .....                          | 21                                   |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                              | 23                                   |
| 2.1. Soldagem MIG/MAG ou GMAW .....                         | 23                                   |
| 2.2. Produtividade .....                                    | 24                                   |
| 2.3. Tempo de ciclo .....                                   | 25                                   |
| 2.4. Estudo de tempos, movimentos e métodos .....           | 27                                   |
| 2.4.1 Desenvolvimento do melhor método .....                | 28                                   |
| 2.4.2    Padronização da operação .....                     | 36                                   |
| 2.4.3 Determinação do tempo padrão .....                    | 37                                   |
| 3. METODOLOGIA .....                                        | 40                                   |
| 3.1 Definição do problema .....                             | 41                                   |
| 3.2 Análise do problema .....                               | 41                                   |
| 3.3 Pesquisa de possíveis soluções .....                    | 43                                   |
| 3.4 Avaliação das Alternativas .....                        | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 3.5 Padronização do processo .....                          | 43                                   |
| 3.7 Determinação do Tempo padrão .....                      | 43                                   |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                            | 44                                   |
| 4.1 Definição do Problema .....                             | 44                                   |
| 4.2 Análise do problema .....                               | 45                                   |
| 4.2.1. Fluxogramas de processo .....                        | 48                                   |
| 4.2.2. Gráfico de Fluxo de Processo .....                   | 53                                   |
| 4.2.3. Diagrama de Espaguete .....                          | 61                                   |
| 4.2.4. Gráfico homem-máquina .....                          | 62                                   |
| 4.3. Análise de atividades necessárias não realizadas ..... | 70                                   |
| 4.4. Estudo de Tempos .....                                 | 70                                   |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 4.5. Possíveis soluções.....                   | 71 |
| 4.4.1 Proposta de novo <i>Layout</i> .....     | 71 |
| 4.4.2 Proposta de Novo Fluxo de Processo ..... | 74 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                   | 89 |
| 6. REFERÊNCIAS .....                           | 91 |

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Produtividade pode ser definida como uma medida ou índice de eficácia de um processo, operação ou atividade com base em seus recursos disponíveis em um certo período. Assim, refere-se a uma medida de eficiência do sistema integrado composto por recursos financeiros, mão-de-obra, materiais, máquinas e tempo (SREEKUMAR; CHHABRA; YADAV, 2018). Portanto, o tempo é uma variável que exerce grande influência na avaliação de produtividade, sendo que, quanto menor seu valor empregado na geração do produto, maior será o seu índice da produtividade.

Neste sentido, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de melhorar a produtividade dos processos de fabricação, por meio de avaliações das etapas de entrada, transformação e saída, buscando práticas modernas para se produzir cada vez mais, reduzindo os custos na mesma proporção (CORTÉS et al., 2021).

Usubamatov, Rahman Riza e Nasir Murad (2013) realizaram uma análise de sistema dos processos da linha de montagem de automóveis e desenvolveram um modelo matemático da taxa de produtividade da linha de montagem. O modelo analítico é derivado da taxa de produtividade da linha de montagem em função da tecnologia de montagem, número de estações, confiabilidade da máquina e dos mecanismos, bem como de fatores gerenciais e organizacionais. O modelo matemático foi aplicado ao processo de montagem da cabine do automóvel. Este mostrou que as principais perdas de produtividade na montagem de automóveis foram devidas a operações auxiliares e equipamentos defeituosos como compressor de ar, transportador, ferramentas pneumáticas, que juntamente com problemas na atividade gerencial resultaram em perdas de produtividade de 30%. Estas perdas de produtividade devem ser reduzidas através da melhoria contínua do processo de

fabricação para aumentar a produção da linha de montagem de cabines de automóveis.

A produtividade é um dos principais índices aplicados na avaliação de desempenho dos processos de fabricação em empresas de manufatura. Os processos de fabricação, de acordo com Groover (2010), estão divididos em operações de processamento e de montagem. Dentre as operações de montagem, destaca-se o processo de soldagem, que consiste em um processo de união permanente.

A soldagem é um importante processo de fabricação usado para produzir uma montagem ou estrutura a partir da união de metais por meio do aquecimento do material a uma temperatura adequada (OMAR et al., 2018; CHOUDHURY; CHANDRASEKARAN, 2017). Conforme exposto por Wang et al. (2020), os processos de soldagem são complexos, com muitos parâmetros e uma compreensão limitada do seu mecanismo. Estes impactos exercem grande influência no índice de produtividade do processo.

Além dos parâmetros de soldagem influenciarem diretamente na produtividade do processo, a forma com a qual as atividades são executadas também pode influenciar nessa variável, especialmente, quando há participação de pessoas na sua execução. Portanto, os métodos, movimentos e tempo influenciam nos resultados de produtividade deste processo.

Nesse sentido, Macedo e Ferreira (2021) desenvolveram um estudo com o objetivo de analisar a viabilidade da utilização dos modelos de curva potencial e exponencial para avaliar o aprendizado de um grupo de soldadores, na soldagem de tubulações de aço inoxidável com o processo de gás inerte de tungstênio, por meio da análise dos dados de produtividade. Os autores constataram que os modelos potencial e exponencial apresentaram condições de ajuste semelhantes, tendo o segundo desempenho ligeiramente superior.

Mouli, Kulkarni e Deepak (2022) realizaram um estudo para melhorar a produtividade de um processo de soldagem por meio do estudo do *layout* de fábrica, em uma empresa de pequena escala. Os autores constataram que o layout existente tinha espaços não utilizados e arranjos de máquinas inadequados. Também, constataram que havia a necessidade de um dispositivo que reduzisse os defeitos causados por erros de alinhamento durante a soldagem. Assim, sugeriram a utilização de uma mesa de fixação, unidade de suporte e grampo de fixação. O uso do dispositivo reduziu o retrabalho de 10% para 5%. Além disso, o *layout* da planta proposto, calculado usando a ferramenta de simulação CRAFT, reduziu a distância percorrida pelo material. Isso resultou na redução dos custos de movimentação de materiais em 15%.

Tendo em vista que o desempenho dos soldadores é fundamental para a qualidade e velocidade da soldagem e que este processo exige posturas corporais inadequadas e repetitivas por longos períodos, Okumus et al. (2023) investigaram o impacto a longo prazo da carga de trabalho de soldagem no corpo para diferentes faixas etárias e níveis de experiência. Além disso, o impacto da fadiga a curto prazo na produtividade foi investigado. Por meio de simulação de eventos discretos, constatou-se que a perda de eficiência devido à fadiga diária de curto prazo é de cerca de 22,9% em comparação com a condição de repouso.

Neste contexto, destaca-se a importância de se desenvolver trabalhos para melhoria de produtividade dos processos de soldagem por meio de análise de tempos e movimentos. O estudo de tempos, movimentos e métodos, conforme exposto por Lopetegui et al. (2014), pode ser empregado de forma a tornar o processo mais eficiente, reduzindo os movimentos envolvidos e, consequentemente, reduzindo o seu tempo de processo.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é identificar oportunidades de melhorias para aumento da produtividade do processo de soldagem de uma estação de trabalho de uma fábrica de máquinas agrícolas.

Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificação de estação de trabalho com baixa produtividade;
- Determinação do melhor fluxo para realização do processo avaliado;
- Redução das movimentações durante a execução do processo investigado;
- Redução do tempo de processo;
- Padronização do processo analisado;
- Determinação do tempo padrão do processo proposto.

## **1.2 Justificativa**

A produtividade é uma medida que está diretamente relacionada à competitividade das organizações. A indústria brasileira tem apresentado um baixo desempenho para este indicador. Segundo a Confederação Nacional da Indústria Brasileira (CNI) (2022), a produtividade do trabalho na indústria de transformação brasileira (medida pelo volume produzido dividido pelas horas trabalhadas na produção) caiu 2,1% no terceiro trimestre em relação ao segundo trimestre de 2022,

conforme pode ser observado na Fig. 1. Nesta mesma base de comparação, as horas trabalhadas aumentaram 2,0%, enquanto o volume produzido praticamente não variou (-0,2%).

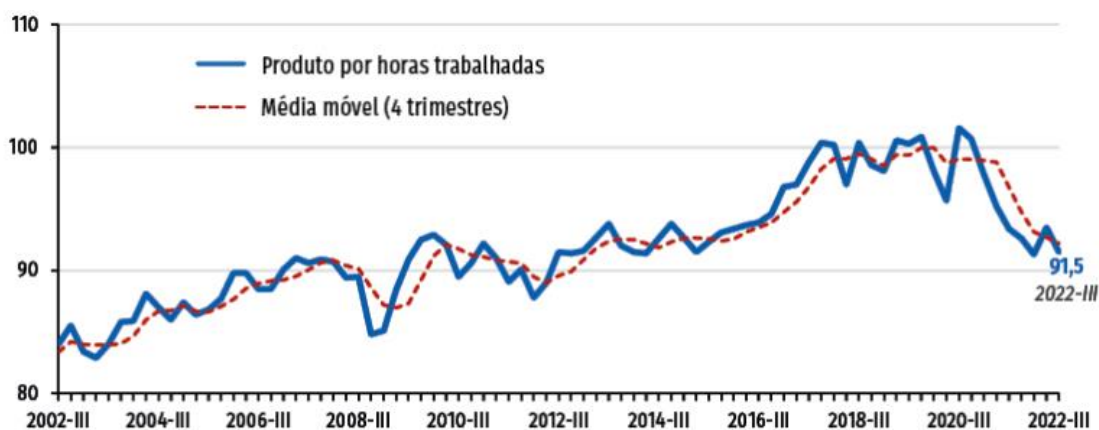


Figura 1 – Produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação brasileira (CNI, 2022)

Assim, observa-se que a produtividade da mão de obra nas empresas brasileiras tem apresentado um declínio, contribuindo para redução da sua competitividade. Portanto, para que as organizações melhorem este indicador, é necessário que estudos sejam realizados, sendo o estudo de tempo, movimentos e métodos de grande relevância para atingir esse objetivo.

Apesar dos valores da produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação, destaca-se que o Brasil apresenta bom desempenho no setor de agronegócio. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) (2023), a balança comercial do agronegócio, no início do ano de 2023, teve superávit de US\$ 8,69 bilhões, valor acima do superávit de US\$ 2,61 bilhões da balança comercial total. O Brasil é destaque em exportação de milho (terceiro maior exportador mundial) e açúcar. Para suportar esse crescimento, este setor precisa de maquinários agrícolas capazes de atender a alta produção.

Diante disso, ressalta-se a importância da indústria de maquinários agrícolas. Essa, por sua vez, apresenta e necessita de grandes oportunidades de melhorias no que se refere à produtividade dos seus processos. Entretanto, ainda há poucos estudos desenvolvidos com esse objetivo. Nascimento et al. (2022) realizaram um trabalho em uma empresa de máquinas agrícolas para melhoria da produtividade do processo de decisões de engenharia, de forma a reduzir os atrasos nas entregas deste. Com o estudo realizado, os atrasos foram reduzidos em 95%.

Portanto, nota-se que a indústria de máquinas agrícolas apresenta grande relevância para a economia da brasileira e que esta necessita da realização de estudos para melhoria da sua produtividade.

### **1.3 Contribuições**

O presente estudo apresenta contribuições, tanto para meio empresarial, quanto para o ambiente acadêmico, produzindo novos conhecimentos, aliando a ciência à prática. Para o meio empresarial, soluções aplicáveis para melhoria da produtividade da estação de trabalho foram identificadas e desenvolveu-se uma metodologia que pode ser replicada por demais organizações. Quanto ao meio acadêmico, produziu-se conhecimento sobre aplicação prática em um ambiente fabril de estudos de tempos, movimentos e métodos, podendo ser replicado por demais pesquisadores.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Com a finalidade de proporcionar melhor compreensão da estrutura deste trabalho, a proposição de cada capítulo é apresentada, de forma resumida:

- O Capítulo 1 objetiva apresentar a contextualização do tema do trabalho, expor seu objetivo, justificativa e contribuições.
- No Capítulo 2, são apresentados os conceitos que fundamentam o trabalho, a saber: Soldagem MIG/MAG ou GMAW; Produtividade; Tempo de ciclo; Estudo de tempo, movimentos e métodos.
- No Capítulo 3, a metodologia utilizada para desenvolvimento do estudo é apresentada. Para tanto, são descritas as etapas do trabalho que podem ser sumarizadas em: definição do problema (análise da produtividade das estações de trabalho na empresa); análise do problema (aplicação das ferramentas: fluxograma, gráfico do fluxo de processos, diagrama de espaguete, gráfico homem-máquina e cálculo do tempo padrão); pesquisa de possíveis soluções, realizadas por meio de análise dos dados e sessões de *brainstorming* e entrevista com os envolvidos; avaliação das alternativas feita por meio de entrevistas com os responsáveis por desenvolver os processos de produção da empresa e com os colaboradores que os executam; padronização do processo por meio da definição do novo fluxo de processos; determinação do tempo padrão, calculado para o processo atual e estimado para o cenário proposto.

- O Capítulo 4 apresenta os resultados do trabalho, obtidos por meio do desenvolvimento das etapas descritas no capítulo 3.
- No capítulo 5, são expostas as conclusões do trabalho, suas contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo, as principais temáticas abordadas no trabalho são expostas e fundamentadas com base na revisão da literatura. Primeiramente, o processo de soldagem GMAW é abordado, com suas principais características expostas. Após, a produtividade e tempo de ciclos são apresentados, seguidos pela fundamentação teórica sobre estudo de tempo, movimentos e métodos.

#### 2.1. Soldagem MIG/MAG ou GMAW

O processo de soldagem GMAW se apresenta como o processo de maior aplicação no setor industrial. Tanto GMAW, do inglês *Gas metal Arc Welding*, quanto MIG/MAG (*Metal inerte Gas/Metal Active Gas*) se referem à soldagem a arco de metais, em geral, com uso de gás, seja ativo ou inerte, conforme destacado por Weman (2012).

De acordo com Zong, Chen e Wu (2020), o processo GMAW tem sido utilizado para unir uma ampla gama de materiais metálicos em muitos campos industriais, devido, principalmente, a sua alta eficiência e baixo custo. Wu et al. (2020) acrescentam que a soldagem GMAW é um método rápido e adaptável para unir componentes grandes e leves e desempenha um papel inestimável na produção industrial para o setor ferroviário de alta velocidade, automóvel, aviação, construção naval, construção e muitas outras indústrias.

O processo GMAW é um tipo de soldagem em que o arco é composto por um fluxo de elétrons e plasma, eletricamente neutro, sob o gás de proteção para derreter o fio em movimento e a peça de trabalho. Neste processo, o arame e a peça servem como os dois terminais do arco, cátodo e ânodo. Conforme pode ser observado na Fig. 2, a ponta do arame de solda derrete para formar uma gotícula, devido à tensão

superficial em alta temperatura proveniente do arco, ao aquecimento ôhmico e ao aquecimento do eletrodo. Quando a soma das forças resultantes (gravidade, força eletromagnética, pressão do arco e plasma do arco) supera a resistência da tensão superficial, a gota formada cai na poça de solda (JIANG; LIN, 2019). Todo esse processo é chamado de transferência metálica.

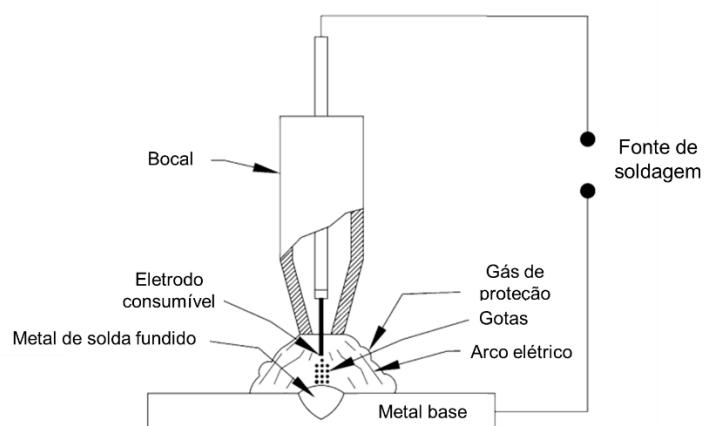


Figura 2 – Circuito de soldagem GMAW (Adaptado de PAL; PAL, 2011)

## 2.2. Produtividade

A produtividade, de forma simples, pode ser definida como a relação entre o *output* (uma medida quantitativa do que foi produzido) e o *input* (uma medida quantitativa dos insumos), conforme pode ser observado na Eq. 1 (MARTINS; LAUGENI, 2005). Essa estrutura de *input-output*, conforme exposto por Wolff (1994), fornece um sistema poderoso para a medição do crescimento da produtividade e a análise das suas tendências.

$$\text{Produtividade} = \text{medida do } output / \text{medida do } input \quad (1)$$

Segundo Houldcroft e John (1988), ao considerar a produtividade para a indústria de fabricação, é mais relevante considerar o tempo para produzir uma unidade completa ou, inversamente, as unidades produzidas no tempo padrão. Critérios importantes são o fluxo de material, a eficiência da estação de trabalho, a velocidade de fabricação e o nível de retrabalho.

A produtividade é uma medida de extrema importância, a longo prazo. Conforme exposto por Krugman (1997), produtividade não é tudo, mas a longo prazo

é quase tudo. A capacidade de um país de melhorar seu padrão de vida ao longo do tempo depende quase inteiramente de sua capacidade de aumentar sua produção por trabalhador.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), a produtividade pode ser analisada de duas formas: produtividade parcial e produtividade total. A primeira refere-se à relação entre o produzido, medido de alguma forma, e o consumido de um dos insumos (recursos) utilizados, como por exemplo, a produtividade da mão-de-obra. Já a segunda, considera a relação entre o *output* total e a soma de todos os fatores de *input*. Assim, reflete o impacto conjunto de todos os fatores de *input* na produção do *output*.

Já Horvat, Kroll e Jäger (2019) consideram a produtividade do trabalho em termos de preço como "valor acrescentado (volume de negócios menos insumos de peças compradas, materiais, operações e serviços) por empregado". Isso fornece um reflexo direto da eficiência de produção (técnica). Para os autores, a produtividade total dos fatores (TFP - *Total Factor Productivity*) é dada como o valor adicionado (vendas menos insumos intermediários) dividido pela soma dos custos de mão-de-obra e depreciação de máquinas e equipamentos.

Para melhor entendimento, Sreekumar, Chhabra e Yadav (2018) definem o termo produção, referindo-se ao processo para gerar produtos acabados ou semiacabados, já a produtividade como sendo a medida de eficácia destes processos, considerando a produtividade e sua amplitude que compreende as variáveis ou fatores que influenciam os processos de produção tais como mão-de-obra, máquinas, materiais e investimentos. Destacam ainda que a produtividade dos sistemas de produção e seus colaboradores é um problema enfrentado por várias organizações ou empresas e está diretamente ligado ao seu desenvolvimento e rentabilidade.

Vários fatores podem afetar a produtividade dos processos produtivos, tais como características do produto a ser produzido, planos e definições de processo, disponibilidade de equipamentos e máquinas, planejamento da produção, uso e atualização de tecnologia, tempos padrões, ambiente de trabalho, problemas de montagem e inspeção (SREEKUMAR; CHHABRA; YADAV, 2018).

### **2.3. Tempo de ciclo**

Uma variável importante para avaliar a produtividade é o tempo de ciclo (C). De acordo com Jacobs e Chase (2009), o tempo de ciclo refere-se ao tempo que transcorre entre as unidades sucessivas saindo ao final da linha e pode ser calculado, conforme Eq. 2. Assim, conforme exposto por Fu e Ma (2019), um tempo de ciclo

menor significa menores custos de produção, o que proporciona melhor competitividade para a empresa no mercado e melhoria na sua produtividade.

$$C = \text{Tempo de produção por dia} / \text{Produção necessária por dia (em unidades)} \quad (2)$$

Para Miltenburg e Sparling (1996), o tempo de ciclo total é composto por cinco subciclos, conforme é exposto na Fig. 3. Assim, para o gerenciamento/redução do tempo de ciclo, é importante reduzir o tempo de cada subciclo. Isso auxilia a alcançar dois objetivos: melhoria na qualidade e custo; redução dos tempos necessários para realizar as atividades de processamento de pedidos, projeto, produção e assim por diante. O primeiro se deve ao fato da redução do tempo total do ciclo resultar em menos tempo disponível para as atividades que estão sendo realizadas no momento, fazendo com que as atividades desnecessárias sejam identificadas e eliminadas, e as necessárias sejam melhoradas (para que possam ser feitas mais rapidamente).

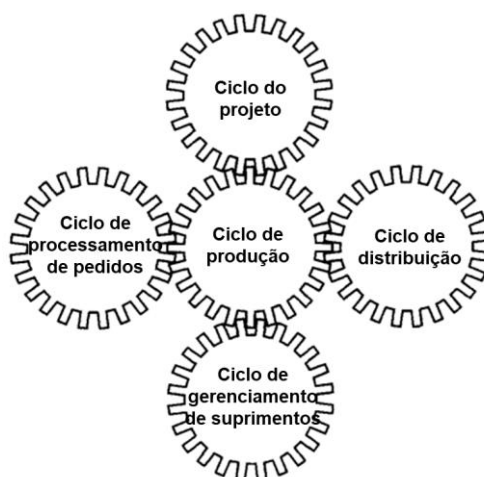


Figura 3 – Os subciclos que compõem o tempo total do ciclo. Adaptado de (MILTENBURG; SPARLING, 1996)

Joseph et al. (2021) utilizaram o tempo de ciclo como ferramenta para avaliar os parâmetros que afetam a produtividade em uma fábrica que fornece correias dentadas para equipamentos de manufatura. Após avaliar o tempo de ciclo atual, um novo processo foi implementado. Novas análises foram realizadas e os autores constataram melhoria na produtividade e redução no tempo de ciclo de, aproximadamente, 19,1%.

## 2.4. Estudo de tempos, movimentos e métodos

Para melhorar a produtividade do sistema de fabricação, as empresas têm implementado conceitos da manufatura enxuta. Por meio dessa metodologia, é possível identificar as atividades que não agregam valor na produção e tentar reduzi-las ou eliminá-las para aumentar a produtividade ou o lucro com a racionalização do processo. Diversas ferramentas da manufatura enxuta podem auxiliar a alcançar esse objetivo, como o estudo de tempos e movimentos (PALANGE; DHATRAK, 2021).

Lopetegui et al. (2014) explicam que o estudo de tempos e movimentos, originalmente, refere-se a um método para melhorar a eficiência e estabelecer padrões de produtividade dos funcionários em que uma tarefa é dividida em etapas, a sequência de movimentos executados pelo colaborador para realizar essas etapas são observadas para detectar movimentos redundantes e o tempo preciso de cada movimento é medido.

Para Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos consiste na análise sistemática dos sistemas de trabalho com os objetivos de: desenvolver o sistema e o melhor método, geralmente o de menor custo; padronizar o sistema e o método; determinar o tempo de execução de uma tarefa ou operação específica, realizada por uma pessoa treinada e considerando o seu ritmo normal; orientar o treinamento do trabalhador de acordo com o método escolhido. Dentre os objetivos citados, o autor destaca que os principais consistem na escolha do melhor método de se executar uma tarefa e na determinação do tempo padrão. Kim et al. (2021) acrescentam que o estudo de tempo e movimento fornece uma maneira de estimar os tempos padrões e a carga de trabalho da unidade, necessários para estimar as taxas de produção de operações manuais em várias unidades.

Para Kanawaty (1992), o estudo de tempos e dos métodos consiste no estudo do trabalho. O estudo do método tem o objetivo de reduzir o conteúdo de trabalho de uma operação. O estudo do tempo concentra-se na investigação de tempos de ineficiência associado à operação. Assim, pode-se estabelecer o tempo padrão a partir da melhoria do método. Além disso, o estudo do tempo pode permitir uma comparação entre métodos distintos para escolha do melhor método. Na Fig. 4, pode-se observar a relação dessas duas análises e constatar que o estudo do método e do tempo pode proporcionar melhoria da produtividade.

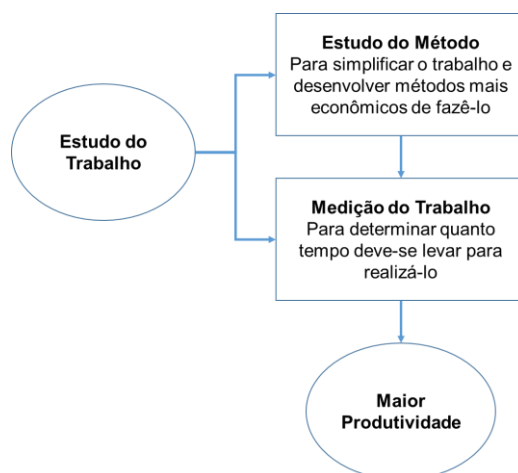


Figura 4 – Relação entre o estudo de tempo e método e a produtividade, adaptado de (KANAWATY, 1992)

Os objetivos do estudo de tempos e movimentos, expostos por Barnes (1977), podem ser aplicados de forma sequencial, conforme mostrado na Fig. 5. Assim, esses objetivos podem nortear o desenvolvimento do estudo de tempos e movimentos.



Figura 5 – Objetivos do estudo de tempos e movimentos (Barnes, 1977)

#### 2.4.1 Desenvolvimento do melhor método

Para escolha do melhor método, Barnes (1977) estabelece cinco etapas, a saber: Definição do problema; análise do problema; pesquisa de soluções possíveis; avaliação das alternativas; recomendação para ação, conforme pode ser observado na Fig. 6. A seguir, as etapas e formas de desenvolvê-las serão descritas detalhadamente.

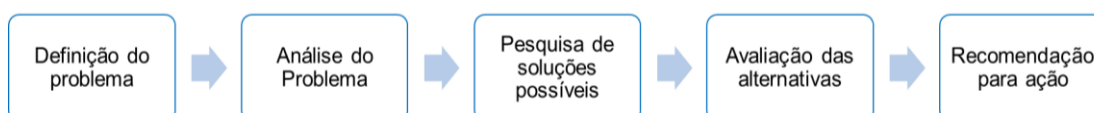


Figura 6 – Etapas para escolha do melhor método

Para determinar o problema, Barnes (1977) ressalta que diversos fatores dentro do fluxo produtivo devem ser verificados, como custo, aumento de produção, obstáculos de armazenagem, etc. O autor acrescenta que o problema deve ser formulado de maneira genérica de forma a permitir a criatividade na determinação da solução. Nessa etapa, devem ser determinados metas e objetivos.

Na análise do problema, deve-se descrever o método atual e determinar as especificações e restrições. Nesta etapa, deve-se incluir (BARNES, 1977):

- 1) Especificações ou restrições incluindo alguns limites nos gastos de capital;
- 2) Descrição do método atual se estiver ainda em funcionamento. Deve incluir diagrama de fluxo de processos, fluxograma, diagrama de frequência dos deslocamentos, gráfico homem-máquina.
- 3) Determinação das atividades que, provavelmente, o homem desempenhará melhor, daquelas que as máquinas desempenharão melhor e da inter-relação homem-máquina.
- 4) Reexame dos problemas e determinação dos subproblemas.
- 5) Reexame dos critérios.

Nota-se que, para descrição do método atual, Barnes (1977) recomenda o emprego de diversas ferramentas, que serão descritas a seguir.

Aplica-se o diagrama de fluxo de processos para registrar diversas etapas e eventos de uma tarefa, desde a entrada até a última etapa do processo. Nas fábricas, esta ferramenta pode abranger mais de um processo, detalhando e evidenciando operações que devem ser analisadas com maior prioridade e até eliminando outras que não agregam valor ao fluxo produtivo (BARNES, 1977).

Essa ferramenta é de grande acessibilidade, podendo ser utilizada por qualquer colaborador ou integrante do fluxo produtivo. Ela compreende símbolos para criação dos diagramas, que demonstram as etapas do processo. Derivando dos símbolos criados por Gilbreth, a *American Society of Mechanical Engineers*, criou em 1957, um padrão de cinco símbolos apresentados na Fig. 7.

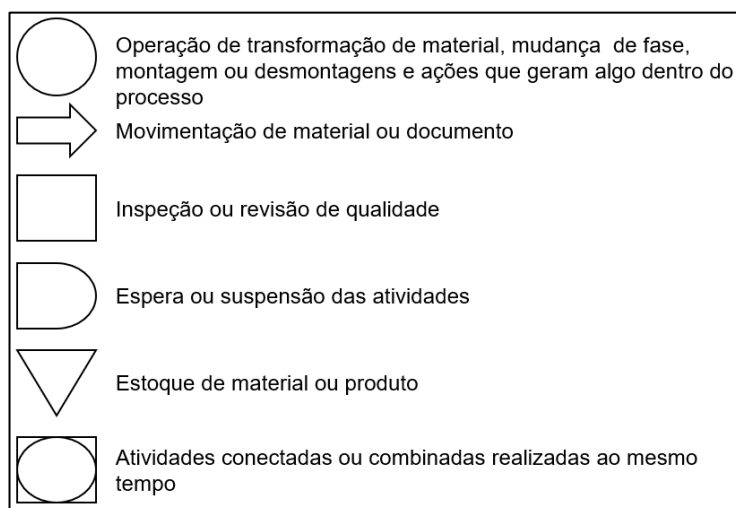


Figura 7 – Símbolos para criação de gráfico de fluxo de processos (ASME, 1957)

Estes símbolos representam as operações, movimentações ou transportes, inspeções, esperas, estoque e atividades conectadas ou combinadas respectivamente (BARNES, 1977). Peinado e Graeml (2007) apresentam um formulário padronizado para construção do diagrama de fluxo de processos, apresentado na Fig. 8.

| DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO |                        |         |                   |                      |
|-------------------------------|------------------------|---------|-------------------|----------------------|
| Processo:                     |                        |         | Local:            |                      |
| Produto:                      |                        |         | Analista:         |                      |
| Nº                            | Descrição da atividade | Duração | Tipo de atividade | Distância percorrida |
| 1                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 2                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 3                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 4                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 5                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 6                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 7                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 8                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 9                             |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |
| 10                            |                        |         | ○ ⇒ D ▽           |                      |

Resumo da operação:

| Atividade | ○          | □ | ⇒ | D | ▽ | Total | Distância total: _____          |
|-----------|------------|---|---|---|---|-------|---------------------------------|
| Itens     | Quantidade |   |   |   |   |       | Índice de aproveitamento: _____ |
|           | %          |   |   |   |   |       |                                 |
| Tempos    | Valor      |   |   |   |   |       | Data ____ / ____ / ____         |
|           | %          |   |   |   |   |       |                                 |

Figura 8 – Formulário padronizado para diagrama de fluxo de processos (PEINADO e GRAEML, 2007)

Combinando-se os símbolos do fluxo de processos com linhas de direção das operações nas plantas ou *layout*, é possível obter uma visualização ainda melhor de todas as etapas e operações. Adicionando anotações aos símbolos, obtém-se o fluxograma, proporcionando maior clareza às etapas do processo avaliado (BARNES, 1977). Conforme Groover (2013), os fluxogramas fornecem uma imagem detalhada do processo sendo útil para compreensão no estudo de análise de operações. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) ressaltam a importância da utilização dos fluxogramas na determinação de melhorias, pois permitem identificar problemas e proporcionam mais clareza sobre os mecanismos ou funcionamentos internos de uma operação.

De acordo com Peinado e Graeml (2007), existem diferentes formas para desenhar os fluxogramas, não havendo uma forma rígida na sua elaboração. Os tipos distintos de fluxogramas são expostos na Fig. 9.

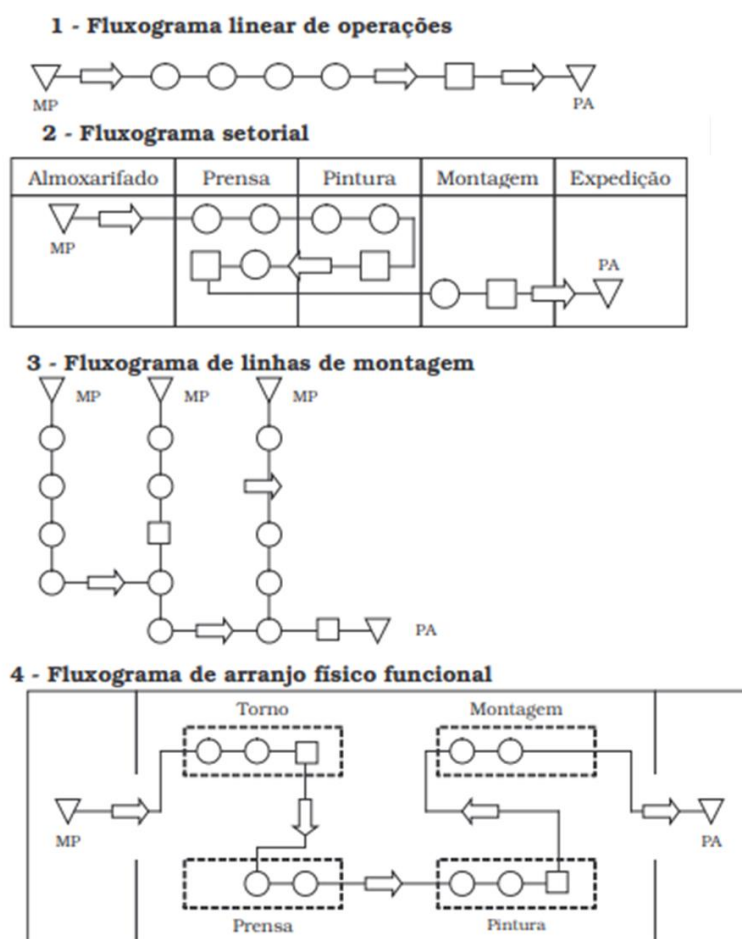


Figura 9 – Tipos de fluxogramas, em que MP é a matéria prima e PA é o produto acabado (PEINADO e GRAEML, 2007)

Estes diagramas representam uma subdivisão dos processos em função do tempo (BARNES,1977). Estão relacionadas às distâncias percorridas durante as

etapas do processo. Uma das ferramentas mais simples a ser utilizadas é o diagrama de espaguete, exemplificado na Fig. 10, pois fornece de maneira visual, com o uso de linhas do ponto de início e fim, a combinação entre movimentos e etapas dentro dos processos para melhor eficácia e eficiência na realização do trabalho, sendo definidos como gráficos essenciais em estudos e desenvolvimento de operações e trabalho padronizado (BRANT, 2020).

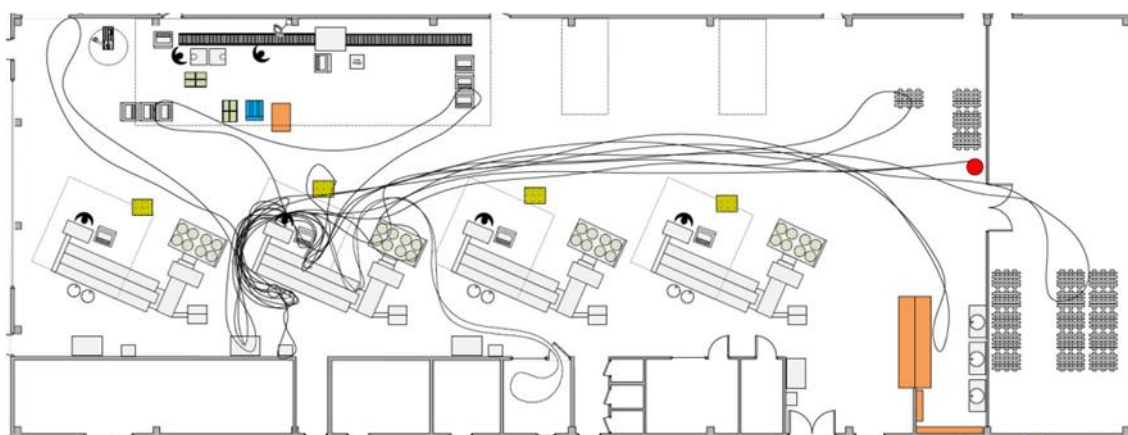


Figura 10 – Diagrama de Espaguete em uma fábrica de detonadores, mostrando fluxo dos operados entre máquinas, estoque e atividades administrativas (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017)

Por meio do diagrama de espaguete, os movimentos podem ser mapeados para os vários operadores das estações de trabalho e para cada tipo de produto. Utilizando cores diferentes, a construção do diagrama permite calcular o tamanho final das distâncias percorridas e suas repetições. Assim, possibilita uma avaliação da redução e eliminação de movimentação desnecessária ou ineficiente na otimização de *layout* dentro das estações de trabalho (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017).

O tempo de processamento dentro do ciclo pode ser reduzido por meio da avaliação do gráfico de homem-máquina, pois permite entender o tempo de inatividade da máquina e do operador, para que que este possa ser reduzido (Han; Lee; Choi, 2013).

Barnes (1977) ressalta que este diagrama compreende o registro do ciclo total das atividades homem-máquina, trabalhando intermitentemente, identificando os tempos de espera de ambos. Por meio destas informações, ações são listadas para aumentar eficiência das máquinas e equipamentos. O autor ainda expõe que é importante que a máquina opere próximo a sua capacidade, tendo em vista,

frequentemente, que o custo da máquina parada é semelhante de mantê-la em operação.

Para tanto, primeiramente, deve-se registrar quando a máquina e o operador exercem as atividades e em que essa consiste, sendo que, geralmente, consiste em: preparação; alimentação do material na máquina; execução. Khan (2004) acrescenta que o gráfico homem-máquina deve ter uma coluna para o homem e uma coluna para cada máquina, como mostrado no exemplo da Fig. 11.

|               |               |           |           |         |  |
|---------------|---------------|-----------|-----------|---------|--|
| Operação:     |               |           |           |         |  |
| Operador:     |               |           |           |         |  |
| Método antigo |               |           | Data:     |         |  |
| Tempo         | Operador      | Máquina x | Máquina y |         |  |
|               | Preparando Mx | Inativa   |           | Inativa |  |
|               | Preparando My | Operando  |           |         |  |
| Resumo        | Operador      | Máquina X | Máquina y |         |  |
| Tempo parado  |               |           |           |         |  |
| Tempo total   |               |           |           |         |  |
| Utilização    |               |           |           |         |  |

Figura 11 – Gráfico homem-máquina (KHAN, 2004)

Na Tabela 1, pode-se observar a síntese das ferramentas expostas que podem ser empregadas na análise do problema, com seu principal objetivo.

Tabela 1 – Ferramentas que podem ser empregadas na análise do problema

| Ferramenta                               | Objetivo                                                 |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Gráfico do fluxo do processo             | Detalhamento das operações                               |
| Fluxograma                               | Melhor visualização do processo                          |
| Diagrama de frequência dos deslocamentos | Redução da movimentação desnecessária                    |
| Gráfico homem-máquina                    | Redução do tempo de inatividade do operador e da máquina |

Fonte: Elaboração própria

O objetivo dessa etapa é determinar soluções que se enquadrem no critério e nas especificações estabelecidas. Para tanto, deve-se empregar o método de eliminação, podendo-se aplicar os princípios de economia de movimentos e usar a

criatividade. Quanto aos princípios da economia de movimentos, relacionados ao uso do corpo humano, tem-se (BARNES, 1977):

- 1) As duas mãos devem iniciar e terminar os seus movimentos no mesmo instante.
- 2) As duas mãos não devem permanecer inativas ao mesmo tempo, exceto durante os períodos de descanso.
- 3) Os movimentos dos braços devem ser executados em direções opostas e simétricas, devendo ser feitos simultaneamente.
- 4) Deve ser empregado o movimento manual que corresponda à classificação mais baixa de movimentos e com o qual seja possível executar satisfatoriamente o trabalho.
- 5) Deve-se empregar a quantidade de movimento a fim de ajudar ao trabalhador quando possível, sendo que esta deve ser reduzida ao mínimo nos casos em que tiver de ser vencida por esforço muscular.
- 6) Os movimentos suaves, curvos e contínuos das mãos são preferíveis aos movimentos em linha reta que necessitam mudanças bruscas de direção.
- 7) Os movimentos parabólicos são mais rápidos, mais fáceis e mais precisos do que movimentos restritos ou "controlados".
- 8) O trabalho deve ser disposto de forma a permitir ritmo suave e natural sempre que possível.
- 9) Fixações da vista deveriam ser tão reduzidas e tão próximas quanto possível.

Quanto à disposição do local de trabalho, Barnes (1977) apresenta os seguintes princípios:

- 10) Deve existir lugar definido e fixo para todas as ferramentas e materiais.
- 11) Ferramentas, materiais e controles devem se localizar perto do local de uso.
- 12) Deverão ser usados depósitos e caixas alimentadoras por gravidade para distribuição do material, o mais perto do local de uso.
- 13) A distribuição da peça processada deve ser feita por gravidade sempre que possível.
- 14) Materiais e ferramentas devem ser localizados de forma a permitir a melhor sequência de movimentos.
- 15) Deve-se providenciar condições adequadas para a visão. A boa iluminação é o primeiro requisito para percepção visual satisfatória.

- 16) A altura do local de trabalho e da banquetta devem ser tais, que possibilitem ao operador trabalhar alternadamente em pé e sentado, tão facilmente quanto possível.
- 17) Deve-se fornecer a cada trabalhador uma cadeira de tipo e altura tais que permitam boa postura para os trabalhos.

No que se refere aos projetos das ferramentas e do equipamento Barnes (1977) expõe os seguintes princípios:

- 18) As mãos devem ser aliviadas de todo o trabalho que possa ser executado mais convenientemente por um dispositivo, um gabarito, ou um mecanismo acionado a pedal.
- 19) Quando possível devem-se combinar duas ou mais ferramentas.
- 20) As ferramentas e os materiais devem ser pré-posicionados sempre que possível.
- 21) Nos casos em que cada um dos dedos execute um movimento específico, a carga deve ser distribuída de acordo com as capacidades intrínsecas de cada dedo.
- 22) Devem-se localizar alavancas, barras cruzadas e volantes em posições tais: que o operador possa manipulá-los com alteração mínima da posição do corpo e com a maior vantagem mecânica.

Quanto à criatividade, uma sessão de *brainstorming* pode ser desenvolvida. Essa técnica, conforme exposto por Prominski e Tian (2020), consiste em reunir um grupo para compartilhar ideias e resultados de pesquisas, identificando novas soluções. Para Bonnardel e Didier (2020) o *brainstorming* é estruturado por quatro regras, a saber: gerar o maior número possível de soluções; adiar o julgamento das soluções até o final da sessão; tentar ter ideias originais; combinar e desenvolver ideias existentes.

Na avaliação das alternativas, deve-se determinar a melhor solução, considerando o menor custo, menor investimento, maior rapidez e melhor qualidade (Barnes, 1977). Entretanto, Barnes (1977) salienta que é desejável selecionar três soluções, a saber: a ideal; a que é preferível para aplicação imediata; outra que poderá ser usada no futuro ou sob condições diferentes.

Ressalta-se que o aspecto humano deve ser avaliado nessa fase, tendo em vista que a solução escolhida depende de pessoas relacionadas ao processo, como supervisor do departamento ou de manutenção. Assim, a solução escolhida para

implementação pode ser aquela a ser colocada em prática com maior facilidade (Barnes, 1977).

Após a definição da solução, deve-se comunicá-la às pessoas. Para tanto, pode-se desenvolver relatórios, abrangendo possíveis objeções e dúvidas (Barnes, 1977). Uma apresentação com ferramentas visuais pode ser necessária, além de abordá-la de maneira clara e de fácil compreensão.

#### 2.4.2 *Padronização da operação*

Na padronização da operação, após a escolha do melhor método, a tarefa pode ser dividida em operações específicas e detalhadas. Os movimentos do operador, as dimensões, a forma e a qualidade do material, as ferramentas, os dispositivos, os gabaritos, os calibres e o equipamento, devem ser especificados com clareza. Para tanto, deve-se registrar o método padronizado com as especificações citadas (BARNES, 1977).

O padrão estabelece regras para atingimento de expectativas claras. Além disso, o padrão suporta os métodos de melhoria contínua, constituindo uma base para todas as atividades de melhorias e definem metas inovadoras. Sendo assim, a padronização pode ser compreendida como a prática de estabelecer, comunicar, seguir e melhorar padrões. Além disso, proporciona consistência por meio de critérios e práticas uniformes. Primeiro, deve-se melhorar o processo, depois padronizá-lo de forma que todos tenham conhecimento deste e possam segui-lo (THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002).

Os padrões de processo descrevem os procedimentos de trabalho e, geralmente, aparecem em folhas de processo ou folhas de instruções de trabalho. Estes documentos, preferencialmente, devem conter apenas uma página para que os operadores consigam ver rapidamente o que é necessário. As folhas de processo ou folhas de instruções de trabalho devem ser afixadas no local de trabalho e as exibições codificadas por cores. Devem conter (THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002):

- Objetivos claros dos padrões.
- Pontos de controle, pontos de verificação e outros dados de gerenciamento - em ambas as formas de frase e símbolos.
- Pontos de verificação divididos em categorias de “devem” versus “preferir”, indicando faixas normais e anormais de operação.
- Gráficos de dados que podem ser facilmente utilizados durante as operações, usando fotos e desenhos para mostrar informações complexas.

### 2.4.3 Determinação do tempo padrão

Após a padronização, Barnes (1977) afirma que se deve determinar o tempo padrão, ou seja, o tempo que uma pessoa qualificada deveria gastar para executar uma tarefa ou operação trabalhando normalmente.

Conforme exposto por Rehman et al. (2019), o cálculo do tempo padrão é importante para a atribuição de tarefas e equalização da carga de trabalho entre os operadores. Os autores realizaram um estudo de tempo padrão com o objetivo de aumentar a produtividade da linha de produção de uma fábrica de roupas de trabalho. Foi desenvolvida uma nova sequência de atividades, a redistribuição de tarefas para os postos de trabalho e balanceamento de linha com tempo de ciclo pré-determinado. A partir dos resultados, observou-se um aumento de 36% na produtividade média das máquinas.

O método mais comum de se medir o trabalho é a cronometragem, em que a operação é dividida em elementos e cada um é cronometrado. Nessa etapa, é importante que o observador da operação verifique a velocidade do operador e ajuste o tempo ao ritmo normal e adicione tolerâncias para necessidades pessoais, fadiga e esperas, resultando assim o tempo-padrão para a operação (BARNES, 1977).

Para definir o tamanho da amostra (número de observações), pode-se empregar a Eq.2 (Peinado e Graeml, 2007).

$$N = ((Z \times R) / (Er \times d_2 \times \bar{x}))^2 \quad (2)$$

Em que N é o número necessário de observações para prever o tempo verdadeiro; Z é o coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade determinada; R é a amplitude da amostra; Er é o erro relativo da medida;  $d_2$  = coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;  $\bar{x}$  é a média dos valores das observações.

O valor de Z dependerá do grau de confiança desejado, conforme Tab. 2, e o de  $d_2$  dependerá do número de cronometragens iniciais (Tab. 3). De acordo com Peinado e Graeml (2007), utiliza-se, usualmente, grau de confiabilidade da medida entre 90% e 95%, e erro relativo aceitável variando entre 5% e 10%.

Tabela 2 – Coeficiente de distribuição normal

| Probabilidade | 90%  | 91% | 92%  | 93%  | 94%  | 95%  | 96%  | 97%  | 98%  | 99%  |
|---------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Z             | 1,65 | 1,7 | 1,75 | 1,81 | 1,88 | 1,96 | 2,05 | 2,17 | 2,33 | 2,58 |

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

Tabela 3 - Coeficiente  $d_2$  para o número de cronometragens iniciais

| N     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| $d_2$ | 1,128 | 1,693 | 2,059 | 2,326 | 2,534 | 2,704 | 2,847 | 2,97 | 3,078 |

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

Para determinação do tempo normal, é necessário determinar o ritmo do operador. Para tanto, Slack et al. (2002) indica que se deve observar a velocidade de trabalho do colaborador, que será relativa ao conceito do observador sobre o desempenho padrão. Nessa observação, pode-se considerar fatores necessários para realizar o trabalho, como velocidade do movimento, esforço, destreza etc. Para uma melhor precisão na determinação do ritmo, Peinado e Graeml (2007) recomendam que um experiente chefe do setor seja consultado.

Assim, após definição do fator de ritmo, pode-se calcular o tempo normal, conforme Eq. 3 exposta por Barnes (1977).

$$TN = TO * (R/100) \quad (3)$$

Em que TN é o Tempo normal, TO é o Tempo selecionado e R é o Ritmo percentual.

Ressalta-se que o tempo normal não considera as tolerâncias. Para tanto, tem-se o tempo padrão, que deve considerar a duração de todos os elementos da operação e o tempo para todas as tolerâncias necessárias. Há a tolerância pessoal, para fadiga e para espera. A tolerância pessoal considera o tempo para as necessidades pessoais do operador. Considerando um trabalho leve, com o período de trabalho de 8h diárias, o trabalhador usará para tempo pessoal de 2 a 5% por dia (10 a 24 min). Para trabalhos mais pesados e desenvolvidos em condições adversas, como em atmosfera quente, pode ser que haja a necessidade de reservar mais de 5% do tempo para tolerâncias pessoais (BARNES, 1977).

A fadiga pode existir por diversos fatores, que estão relacionados ao físico e à mente. É uma medida complexa de ser realizada e o que é mais comumente empregado é o fornecimento de dois períodos de descanso, que variam de 5 a 15 min cada (BARNES, 1977).

Nurhayati, Zawiah e Mahidzal (2016) expõem que o desempenho ou capacidade de cada trabalhador afeta a sua produtividade, se este trabalha além do seu nível de capacidade, pode resultar em perda de produtividade, pois esta é

influenciada também pela incapacidade dos trabalhadores. Sendo assim, é importante considerar as tolerâncias relacionadas à fadiga para manutenção da boa produtividade.

A tolerância para espera inclui exemplos como: necessidade de ajustes rápidos, quebra de ferramentas, tempo perdido devido à variação ocasional no material e interrupções pelos supervisores. Para sua determinação, se deve realizar estudos durante um extenso período para coleta de dados de confiança (BARNES, 1977).

A partir da definição das tolerâncias, em porcentagem, o tempo padrão pode ser obtido por meio da Eq. 4.

$$TP = TN + (TN \times T) \quad (4)$$

Em que TP é o tempo padrão e T refere-se às tolerâncias em %.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

A avaliação dos métodos e mapeamento dos processos foi aplicada em uma fábrica de equipamentos agrícolas. Esta ocupa uma área total superior a 4 mil metros quadrados e emprega, aproximadamente, 1000 funcionários diretos.

Dentre as principais atividades efetuadas na empresa, tem-se as etapas de fabricação, pintura e montagem. Para desenvolvimento do estudo, foi selecionado o processo de fabricação soldagem, por ser considerado um processo chave da organização (*core competence*), que demanda uma elevada quantidade de colaboradores, que interagem com máquinas e equipamentos, além de envolver um número elevado de movimentações. Portanto, esse processo impacta significativamente na produtividade da organização.

O processo de soldagem realizado nesta fábrica é essencialmente o GMAW, em que os principais itens da estação de trabalho são as fontes de soldagem, tochas, ferramentas manuais, gabaritos ou dispositivos de soldagem, lanças ou braços giratórios. Esta configuração de estação de trabalho é similar e aplicada em todas as 20 estações de trabalho que a fábrica possui. Todas elas apresentam oportunidades para melhorias.

A sequência de etapas de aplicação deste trabalho foi baseada nos estudos de Barnes (1977), conforme pode ser observado no fluxograma da Fig. 12. Nas próximas sessões, as etapas constituintes do fluxograma serão detalhadas.

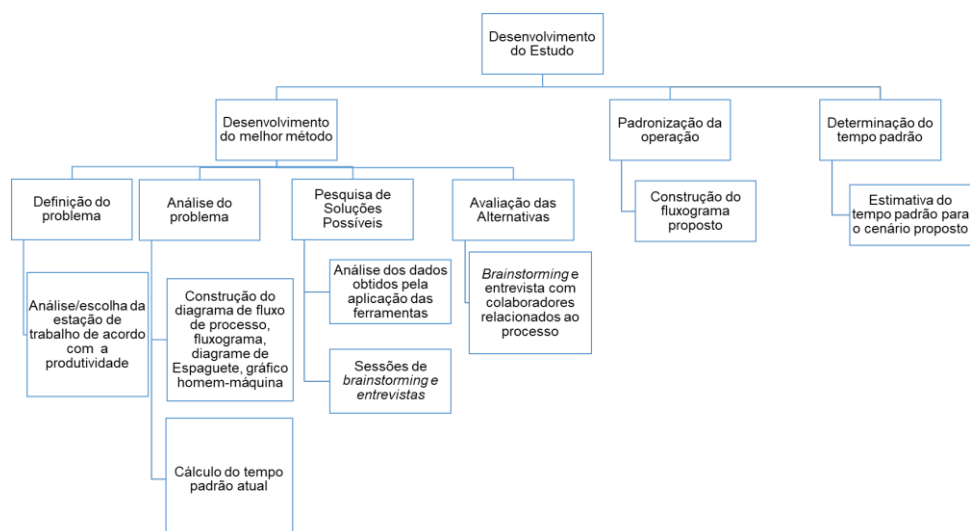


Figura 12 – Etapas de desenvolvimento do estudo (Adaptação, Barnes 1977)

### 3.1 Definição do problema

Para a realização do presente trabalho, optou-se por escolher uma estação de trabalho do processo de soldagem GMAW, de forma a aprofundar as análises de estudo de tempo, movimentos e métodos, objetivando a melhoria na produtividade. Para tanto, os valores de produtividade das 20 estações de trabalho foram analisados. O período avaliado foi de janeiro a junho do ano de 2022, pois aborda os três cenários de volume de produção que a empresa trabalha: baixo, normal e alto. Assim, os dados representam resultados de todos os cenários que podem ser aplicados. Com base nos dados, criou-se gráfico consolidado (Figura 14, Capítulo 4), por meio do *software* Excel, contendo a avaliação da situação atual.

A partir dessa análise, a estação de trabalho que apresentou o menor valor de produtividade no período avaliado, foi a escolhida. Considerou-se a meta de produtividade definida pela empresa, como valor mínimo a ser atingido.

### 3.2 Análise do problema

Para análise do problema, baixa produtividade, realizou-se entrevistas com soldadores, observações *in loco* e utilizou-se de filmagens disponibilizadas pela empresa arquivadas em seu banco de dados. Assim, avaliou-se todas as movimentações do soldador na estação de trabalho escolhida, a saber: as interações com gabaritos de soldagem, manipulação de equipamentos de movimentação de peças, acionamento de botoeiras, uso de ferramentas manuais, realização do

processo de soldagem, inspeção do processo e movimentação final para o processo posterior.

Para análise do processo, utilizou-se dos arquivos disponibilizados pela empresa. O número de filmagens a serem avaliadas foi determinado pela Eq. 2, considerando o nível de confiança de 95% e um erro relativo de 5%. Os dados referentes aos tempos de execução das tarefas foram tabulados.

As ferramentas para mapeamento do ciclo realizado pelo soldador na estação de trabalho em avaliação, foram:

- Fluxograma com estilo linear;
- Diagrama de fluxo de processos;
- Diagrama de espagete;
- Gráfico homem-máquina.

Primeiramente construiu-se os fluxogramas de processo. Para tanto, analisou-se as filmagens e registou-se suas etapas e sequências. Após essa etapa, construiu-se o gráfico de fluxo de processos, utilizando simbologia padrão, descrevendo cada etapa do ciclo de soldagem, com seu respectivo tempo e distância percorrida. Essa etapa constituiu-se das atividades de movimentação de peças, montagem no gabarito, aplicação da soldagem combinada com giros do gabarito, inspeção ao final da soldagem e a movimentação final para carro com sistema de rodas e tracionado via rebocador tripulado, utilizado na movimentação do item até a processo de pintura.

Para evidenciar a frequência dos deslocamentos, foi elaborado o diagrama de espagete, por meio de representação por linhas, que indicam o deslocamento do operador. Para tanto, o *layout* da estação de trabalho foi esquematizado, com demonstração da localização dos equipamentos e máquinas.

Elaborou-se o Gráfico homem-máquina a partir das observações e cronometragens dos momentos de atividade e inatividade do equipamento de soldagem e do operador.

Nesta etapa, também se calculou o tempo normal e o tempo padrão do processo atual. Para tanto, as Eq. 3 e 4 foram utilizadas. Os valores para o ritmo, o fator de tolerância e fadiga do operador são padronizados pela empresa. Portanto, para sua determinação, o banco de dados da organização foi consultado. Assim, o tempo padrão foi calculado.

### **3.3 Pesquisa de possíveis soluções e alternativas**

Para identificar possíveis soluções, aplicou-se os princípios de economia de movimentos descritos por Barnes (1977). Para tanto, as filmagens foram avaliadas.

Além disso, elaborou-se sessões de *brainstorming* com a participação de do supervisor e facilitador do processo avaliado, além do engenheiro de fábrica responsável pelo desenvolvimento deste processo.

Também, analisou-se os dados obtidos por meio da aplicação dos diagramas e gráficos desenvolvidos para possíveis alternativas.

Nestes momentos, foram verificadas a viabilidade operacional de aplicação, facilidade e tempo de implementação, baseada na experiência dos colaboradores.

### **3.5 Padronização do processo**

A padronização do fluxo de processo foi aplicada por meio da construção de fluxogramas que abordaram as melhorias propostas. Além disso, construiu-se um novo layout proposto. Estes foram mostrados e explicados para os engenheiros que desenvolvem o processo para validação.

### **3.6 Determinação do Tempo padrão**

Após construção do novo fluxograma de processo, considerando as melhorias identificadas (fluxo de processo e *layout* proposto), o tempo padrão para o cenário proposto foi estimado.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, são apresentados os resultados do estudo, com sequência baseada nas etapas descritas na metodologia.

#### 4.1 Definição do Problema

Para o processo de soldagem realizado na fábrica avaliada, todo produto acabado é definido como um conjunto soldado. Este conjunto soldado é formado por vários itens, sendo chapas, tubos e outros perfis de composição metálica que são montados nos gabaritos e posteriormente são unidos pelo processo de soldagem.

Cada conjunto soldado, após finalizada sua fabricação, recebe um número padrão, formado por letras e números conhecido como *part number*. Este *part number* se mantém o mesmo, independente do dia e mês que é produzido, sendo alterado somente pela engenharia de fábrica, quando necessário.

O tempo de processo de fabricação dos conjuntos são desenvolvidos pelo setor de Engenharia de fábrica e disponibilizado no sistema com interface do *software* SAP. Esse tempo é definido como tempo de roteiro de fabricação, utilizando unidade de horas.

Após finalizar o conjunto soldado, o soldador realiza uma operação no sistema denominada apontamento, que contabiliza o tempo do produto acabado. Esses valores são somados, considerando os conjuntos soldados produzidos por todas as estações, em todos os dias trabalhados ao final do mês. Assim, a produtividade da fábrica é calculada pela divisão das horas totais dos conjuntos soldados apontados pelas horas totais trabalhadas no período do mês.

A meta de produtividade estabelecida pela empresa é de 0,676, o que corresponde a 67,6% de produtividade desejada para cada estação. Este indicador contribui para determinação do cálculo da participação nos resultados dos colaboradores.

Os dados referentes à avaliação da produtividade das 20 estações de trabalho no processo de soldagem, no período de janeiro a junho de 2022, podem ser observados na Fig. 13.

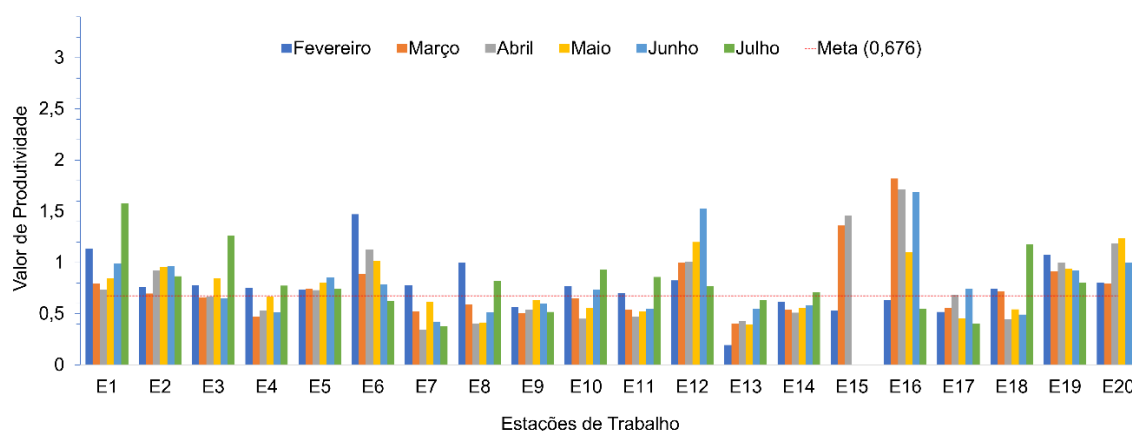


Figura 13 – Valores de produtividade das 20 estações de trabalho do processo de soldagem no período de janeiro a junho de 2022 (Elaboração própria)

Nota-se que nas estações E1, E2, E5, E6, E12, E19 e E20 apresentaram valores de produtividade acima da meta em todos os meses avaliados. No mês de março, algumas estações apresentaram altos valores para a produtividade, em relação à meta, sendo que a estação E16 apresentou um valor 67% maior que a meta.

Para as estações E9, E13 e E14 não houve nenhum valor igual ou acima da meta em todo período avaliado. Observa-se que a estação E13 apresentou valores de produtividade entre 0,194, em fevereiro, e 0,629 (em julho), configurando como a estação de trabalho de menor produtividade dentre as 20 estações avaliadas. Portanto, a estação E13 constitui objeto de estudo do presente trabalho.

## 4.2 Análise do problema

Para que fosse possível representar o processo avaliado de forma mais clara e objetiva, o *layout* da estação de trabalho em que este ocorre é mostrado na Fig. 14, em vista superior.

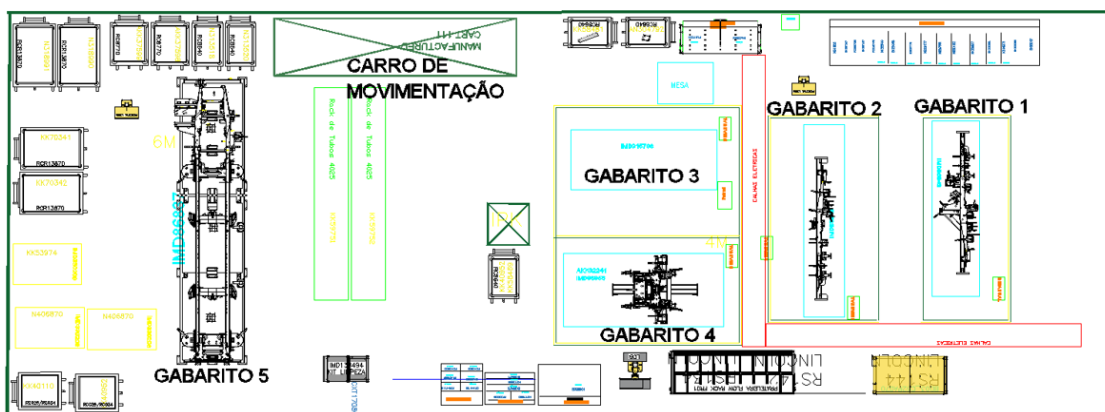


Figura 14 – Representação ilustrativa do *layout* em vista superior da estação em estudo (Elaboração própria)

A estação de trabalho é constituída por aproximadamente 214 m<sup>2</sup>, preenchidos com embalagens de peças nas extremidades, gabaritos de soldagem na região central, corredores de acesso entre estes equipamentos, braços giratórios suspensos para sustentação das fontes de soldagem e carro para movimentação do conjunto soldado finalizado até o processo de pintura.

A sequência do processo de montagem e soldagem dos conjuntos iniciam-se no gabarito 1 e finalizam-se no gabarito 5. Todas as peças e conjuntos acima de 16 quilogramas, são movimentados com uso de equipamentos de içamento e movimentação.

Para cada gabarito, há uma lista de tarefas que resultam no conjunto final, que nesta estação de trabalho é o chassi de uma máquina agrícola. Na Figura 15, é representado qual conjunto do chassi é montado em cada gabarito. No gabarito 1, é produzida a lateral direita do chassi. No 2, processa-se a lateral esquerda e, no 3, estes subconjuntos são unidos, formando a parte frontal do chassi. No gabarito 4, é produzida a parte traseira do chassi e, no 5, realiza-se a união da parte frontal com a traseira.

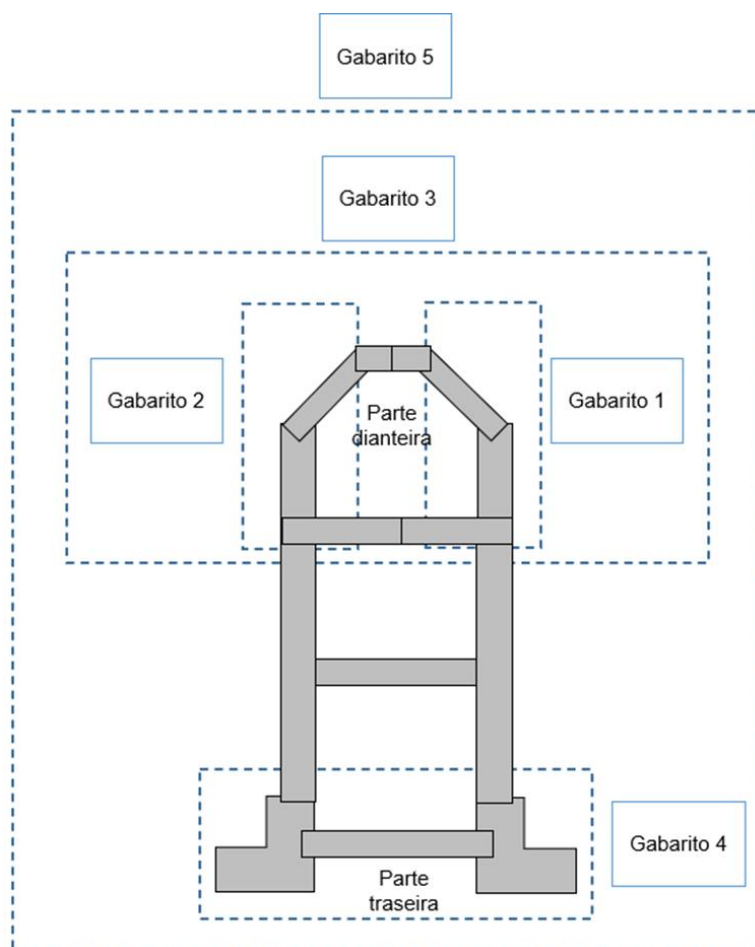


Figura 15 – Desenho representativo do chassi de uma máquina agrícola, em vista superior, relacionando o respectivo gabarito para soldagem (Elaboração própria)

Para análise do problema, foram criados os fluxogramas do processo, gráfico do fluxo do processo, gráfico homem-máquina e o diagrama de espaguete. Para tanto, necessitou-se realizar o detalhamento das atividades executadas pelo operador. Inicialmente, foram coletadas sete amostras por meio de filmagens. Todas as movimentações foram observadas e documentadas. Além disso, os seus tempos correspondentes e distâncias percorridas foram identificados.

De forma a avaliar se o tamanho da amostra foi adequado para se realizar os estudos de maneira confiável, realizou-se o cálculo exposto pela Eq. 1. Para tanto, considerou-se o grau de confiabilidade da medida de 95% e erro relativo aceitável de 5%. Ressalta-se que as atividades desenvolvidas em cada gabarito da estação avaliada foram analisadas de maneira separada, para possibilitar seu maior detalhamento.

Assim, utilizou-se o coeficiente de distribuição normal ( $Z$ ) de 1,96 de acordo com a Tb. 2, o erro de 0,05 e o coeficiente para número de cronometragens iniciais ( $D_2$ ) de 2,704 (Tab. 3), considerando as 7 coletas iniciais. Conforme os resultados

expostos na Tab. 4. Nota-se que o número necessário para amostragem, é de 6, para o gabarito 2. Portanto, as sete amostras consideradas inicialmente são suficientes para o desenvolvimento do estudo.

Tabela 4 – Número de amostras (N) necessárias considerando o grau de confiança de 95 % e erro de 5%

| Gabarito | Z    | R   | Er   | D2    | $\bar{x}$ | N |
|----------|------|-----|------|-------|-----------|---|
| 1        |      | 315 |      |       | 2363,86   | 4 |
| 2        |      | 614 |      |       | 3892,47   | 6 |
| 3        | 1,96 | 402 | 0,05 | 2,704 | 3027,43   | 4 |
| 4        |      | 247 |      |       | 4609,86   | 1 |
| 5        |      | 56  |      |       | 2892,57   | 1 |

Fonte: Autoria própria

#### 4.2.1. Fluxogramas de processo

Para compreensão geral do processo analisado, primeiramente, o fluxograma global, considerando as atividades desenvolvidas nos cinco gabaritos da estação de soldagem, foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 16.

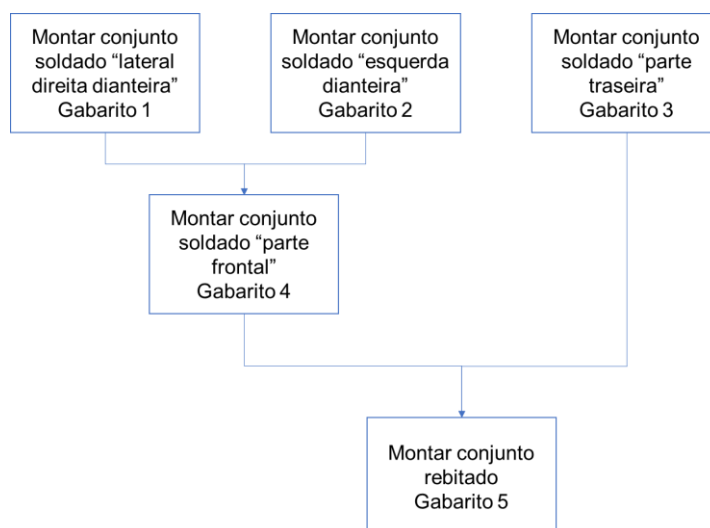


Figura 16 – Fluxograma geral das atividades da estação de trabalho (Autoria própria)

Considerando que na estação de trabalho são desenvolvidas atividades em cinco gabaritos diferentes, que demandam diversas etapas do processo, estas foram avaliadas detalhadamente de forma separada. Assim, foram construídos fluxogramas separados para atividades desenvolvidas em cada gabarito.

Na Figura 17, pode-se observar o fluxograma das atividades desenvolvidas no gabarito 1. Nota-se que o processo se inicia com a movimentação de peças das embalagens até a bancada. Ao avaliar todo o fluxograma, é notório que há muitas atividades de movimentação (14) intercaladas entre as operações de montagem e soldagem. Observa-se, também, que todas as atividades, tanto de movimentação, quanto de montagem e soldagem, ocorrem de maneira sequencial, tendo em vista que todo o processo é executado por um único soldador. Cabe destacar que os giros são atividades que não agregam valor ao produto, porém são necessárias ao processo para permitir que a próxima operação possa ser desenvolvida de maneira ergonômica pelo operador.

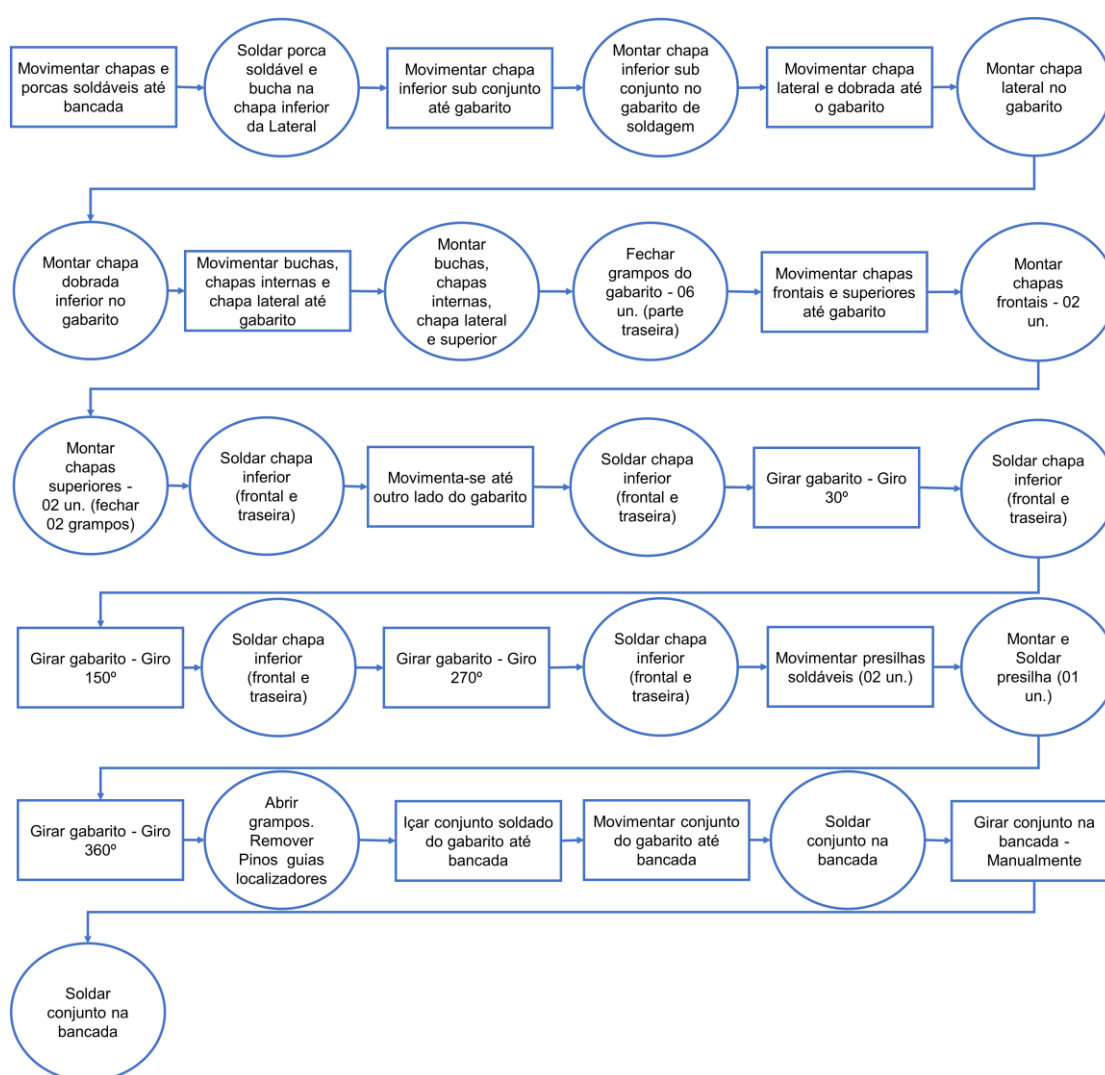


Figura 17 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 1 (Autoria própria)

Na Figura 18, é mostrado o fluxograma de processo das atividades desenvolvidas no gabarito 2. Ressalta-se que, embora os subconjuntos montados no

gabarito 1 e 2 tenham design semelhantes, o fluxograma do gabarito 2 apresenta um número maior de etapas de operação (36) e movimentação (15), pois é responsável pela produção de um subconjunto de maior complexidade e funções estruturais para o chassi.

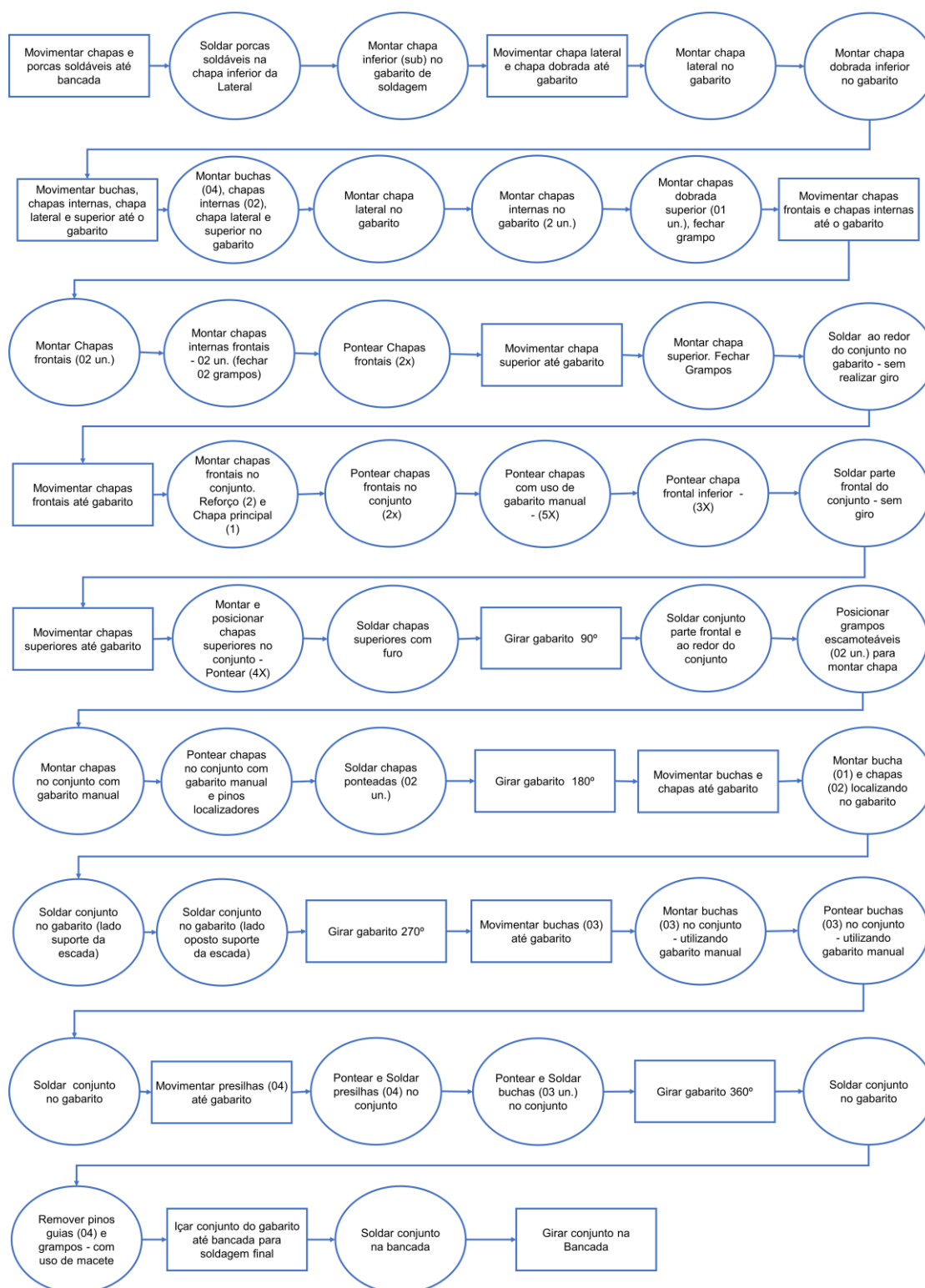


Figura 18 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 2 (Autoria própria)

Na Figura 19, é mostrado o fluxograma das atividades desenvolvidas no gabarito 3, em que ocorre a junção dos subconjuntos lateral direita (produzido no gabarito 1) e lateral esquerda (produzido no gabarito 2) do chassi. Este processo apresenta um menor número de movimentação (9), pois recebe as laterais prontas, necessitando movimentar apenas algumas peças menores.

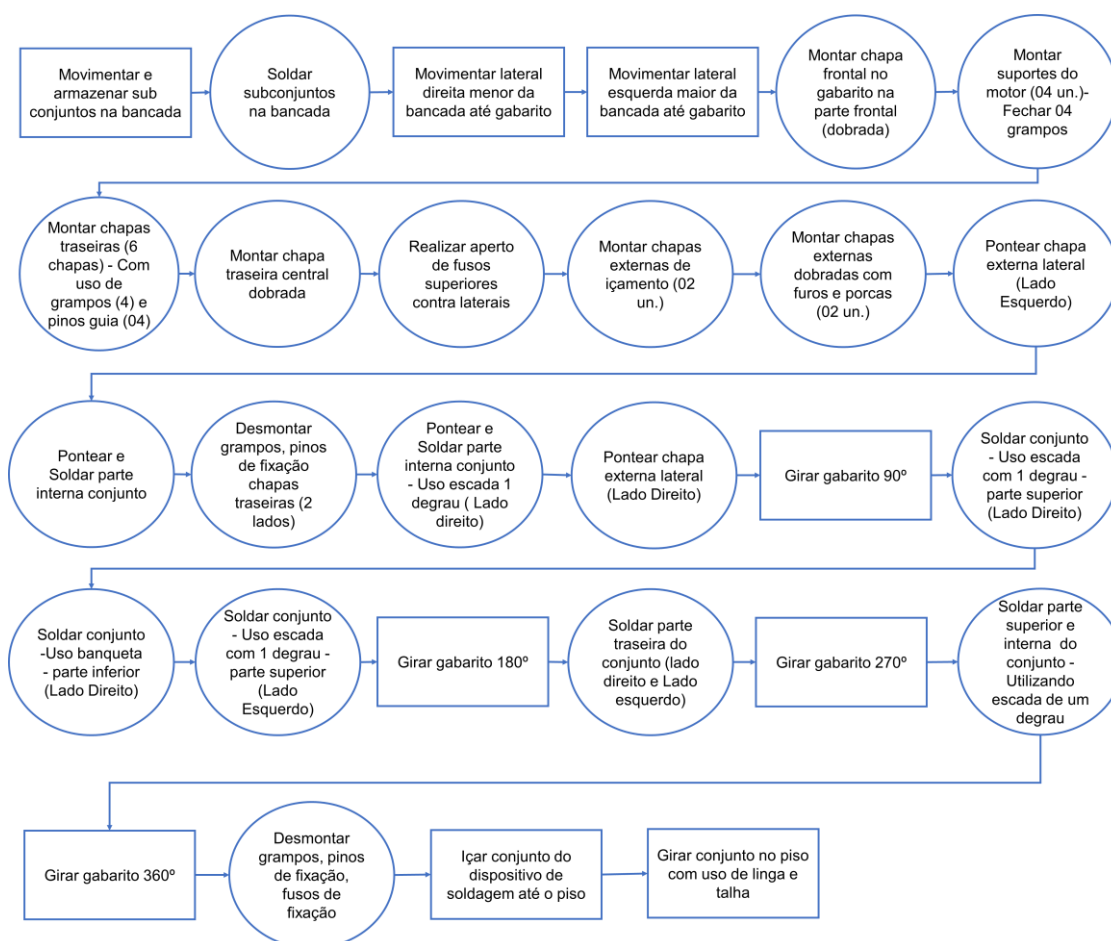


Figura 19 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 3 (Autoria própria)

Na Figura 20 está exposto o fluxograma do processo desenvolvido no gabarito 4. Nele, há 14 atividades de movimentação e 41 de operação. Nota-se que as atividades de movimentação estão concentradas no início do processo, seguidas de sequências que envolvem montagens de itens, ponteamto e soldagem. Isso ocorre porque esse conjunto montado é mais robusto e suporta uma carga maior na funcionalidade do chassi, assim, ele tem um maior número de configuração de juntas a serem soldadas.



Figura 20 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 4 (Autoria própria)

Na Figura 21, é mostrado o fluxograma das atividades que ocorrerem no gabarito 5, onde há a união dos conjuntos fabricados nos demais gabaritos. Ressalta-se que neste fluxo não há operação de soldagem, ocorrendo apenas montagens e rebitagens. São 11 atividades de movimentação e 16 de operação.

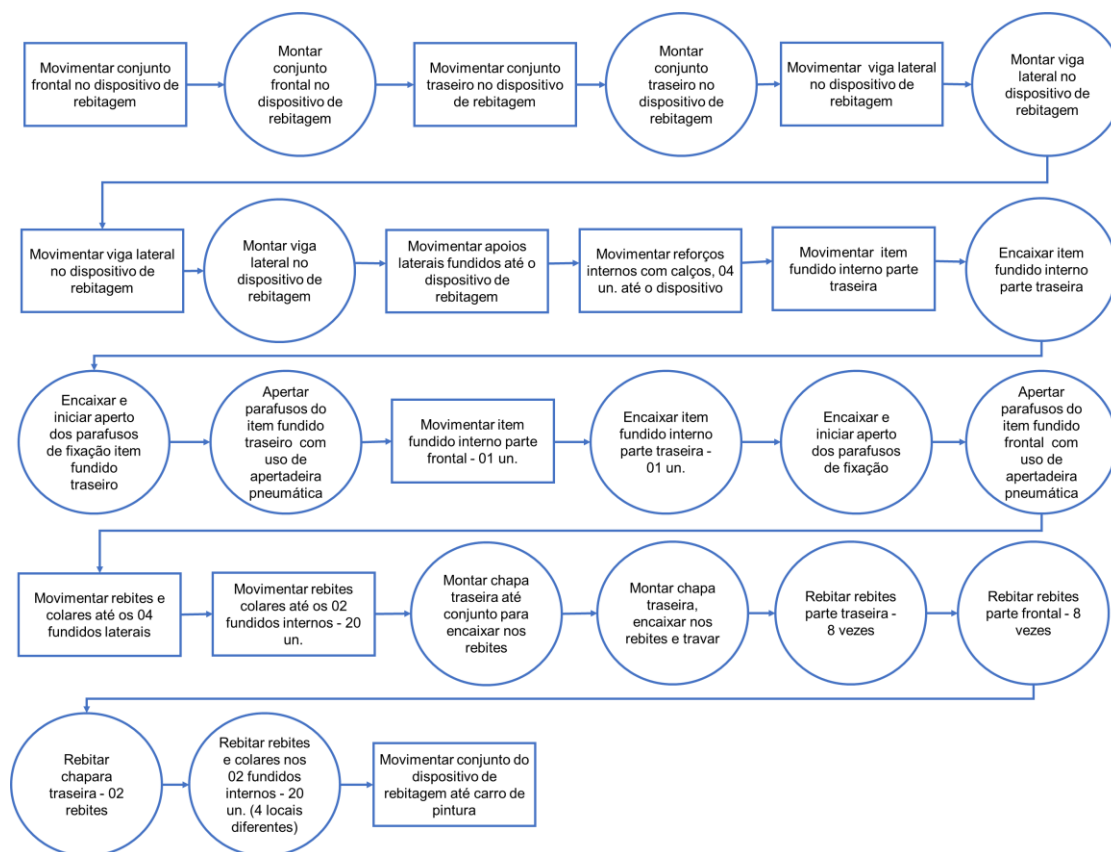
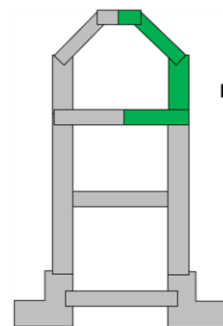


Figura 21 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 5 (Autoria própria)

#### 4.2.2. Gráfico de Fluxo de Processo

Para avaliação detalhada das atividades, com seus respectivos tempos e distâncias inerentes, elaborou-se os gráficos do fluxo do processo. Na Figura 22, está exposto o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 1. Nota-se que, da distância total percorrida (96,7 m), 74,10 m refere-se à movimentação, em que são gastos aproximadamente 401,86 s, e 22,60 m referem-se à operação, com 1962,00 s gastos. Assim, observa-se que 77% da distância percorrida pelo operador e 17% do tempo total desta operação destina-se às atividades não agregadoras de valor (movimentação).

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                         | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                               | Movimentação  | 23,43           | →        | 13,5          |
| 2               | Soldar porca soldável e bucha na chapa inferior da Lateral                     | Operação      | 30,43           | ○        | 1,6           |
| 3               | Movimentar chapa inferior sub conjunto até gabarito                            | Movimentação  | 8,00            | →        | 5,2           |
| 4               | Montar chapa inferior sub conjunto no gabarito de soldagem                     | Operação      | 3,57            | ○        | 0,5           |
| 5               | Movimentar chapa lateral e dobrada até o gabarito                              | Movimentação  | 18,29           | →        | 4,5           |
| 6               | Montar chapa lateral no gabarito                                               | Operação      | 3,86            | ○        | 0,5           |
| 7               | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                      | Operação      | 8,57            | ○        | 4,5           |
| 8               | Movimentar buchas, chapas internas e chapa lateral até gabarito                | Movimentação  | 20,71           | →        | 4,0           |
| 9               | Montar buchas (04), chapas internas (02), chapa lateral e superior no gabarito | Operação      | 115,00          | ○        | 0,5           |
| 10              | Fechar grampos do gabarito - 06 un. (parte traseira)                           | Operação      | 38,00           | ○        | 0,5           |
| 11              | Movimentar chapas frontais e superiores até gabarito                           | Movimentação  | 18,29           | →        | 12,7          |
| 12              | Montar chapas frontais - 02 unds                                               | Operação      | 27,57           | ○        | 0,5           |
| 13              | Montar chapas superiores - 02 un. (fechar 02 grampos)                          | Operação      | 34,43           | ○        | 0,5           |
| 14              | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                     | Operação      | 296,00          | ○        | 1,5           |
| 15              | Movimentar-se até outro lado do gabarito                                       | Movimentação  | 17,14           | →        | 1,5           |
| 16              | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                     | Operação      | 248,00          | ○        | 1,5           |
| 17              | Girar gabarito - Giro 30°                                                      | Movimentação  | 60,57           | →        | 2,4           |
| 18              | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                     | Operação      | 557,86          | ○        | 1,5           |
| 19              | Girar gabarito - Giro 150°                                                     | Movimentação  | 47,57           | →        | 2,4           |
| 20              | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                     | Operação      | 229,86          | ○        | 1,5           |
| 21              | Girar gabarito - Giro 270°                                                     | Movimentação  | 22,14           | →        | 2,4           |
| 22              | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                     | Operação      | 126,00          | ○        | 1,5           |
| 23              | Movimentar presilhas soldáveis (02 un.) (Buscar da prateleira até gabarito)    | Movimentação  | 25,57           | →        | 10,4          |
| 24              | Montar e Soldar presilha (01 un.)                                              | Operação      | 21,00           | ○        | 1,5           |
| 25              | Girar gabarito - Giro 360°                                                     | Movimentação  | 17,00           | →        | 2,4           |
| 26              | Abrir grampos (9 un.). Remover Pinos guias localizadores                       | Operação      | 56,43           | ○        | 1,5           |
| 27              | Ícar conjunto soldado do gabarito até bancada. Utilizar talha e dispositivo de | Movimentação  | 61,29           | →        | 6,5           |
| 28              | Movimentar conjunto do gabarito até bancada                                    | Movimentação  | 49,29           | →        | 4,7           |
| 29              | Soldar conjunto na bancada                                                     | Operação      | 24,00           | ○        | 1,5           |
| 30              | Girar conjunto na bancada - Manualmente                                        | Movimentação  | 12,57           | →        | 1,5           |
| 31              | Soldar conjunto na bancada                                                     | Operação      | 141,43          | ○        | 1,5           |



Lateral Direita Dianteira

| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 14               | 74,10               | 401,86          |
| Operação     | 17               | 22,60               | 1962,00         |

Figura 22 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 1, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

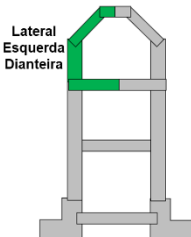
Na Figura 23, tem-se o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 2, em que é montado o conjunto soldado denominado lateral esquerda dianteira. Pode-se observar que, da distância total percorrida (275,7 m), 162,8 m referem-se ao deslocamento de peça de um local para outro, com tempo de 570,80 segundos, e 112,9 m à movimentação inerente à operação, com 3321,76 segundos de tempo de processo. Portanto, tem-se que 15 % do tempo desta operação e 59 % do

deslocamento do operador correspondem a atividades que não agregam valor (movimentação).

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                         | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                               | Movimentação  | 21,57           | ➡        | 4,8           |
| 2               | Soldar porcas soldáveis na chapa inferior da Lateral                           | Operação      | 36,14           | ○        | 1,6           |
| 3               | Montar chapa inferior (sub) no gabarito de soldagem                            | Operação      | 21,43           | ○        | 6,1           |
| 4               | Movimentar chapa lateral e chapa dobrada até gabarito                          | Movimentação  | 13,29           | ➡        | 13,6          |
| 5               | Montar chapa lateral no gabarito                                               | Operação      | 4,71            | ○        | 0,5           |
| 6               | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                      | Operação      | 7,57            | ○        | 0,5           |
| 7               | Movimentar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior até o gabarito    | Movimentação  | 19,80           | ➡        | 14,8          |
| 8               | Montar buchas (04), chapas internas (02), chapa lateral e superior no gabarito | Operação      | 16,14           | ○        | 7,8           |
| 9               | Montar chapa lateral no gabarito                                               | Operação      | 8,29            | ○        | 7,0           |
| 10              | Montar chapas internas no gabarito (2 un.)                                     | Operação      | 85,00           | ○        | 0,5           |
| 11              | Montar chapas dobrada superior (01 un.), fechar grampo.                        | Operação      | 41,43           | ○        | 0,5           |
| 12              | Movimentar chapas frontais e chapas internas até o gabarito                    | Movimentação  | 18,71           | ➡        | 15,2          |
| 13              | Montar Chapas frontais (02 un.)                                                | Operação      | 37,43           | ➡        | 0,5           |
| 14              | Montar chapas internas frontais - 02 un. (fechar 02 grampos)                   | Operação      | 21,00           | ○        | 0,5           |
| 15              | Pontear Chapas frontais (2x)                                                   | Operação      | 20,00           | ○        | 0,5           |
| 16              | Movimentar chapa superior até gabarito                                         | Movimentação  | 35,00           | ➡        | 9,4           |
| 17              | Montar chapa superior. Fechar Grampos                                          | Operação      | 8,14            | ○        | 0,5           |
| 18              | Soldar ao redor do conjunto no gabarito - sem realizar giro                    | Operação      | 576,71          | ○        | 7,6           |
| 19              | Movimentar chapas frontais até gabarito                                        | Movimentação  | 51,57           | ➡        | 18,1          |
| 20              | Montar chapas frontais no conjunto. Reforço (2) e Chapa principal (1)          | Operação      | 10,86           | ○        | 0,5           |
| 21              | Pontear chapas frontais no conjunto (2x)                                       | Operação      | 22,57           | ○        | 0,5           |
| 22              | Pontear chapas com uso de gabarito manual - (5X)                               | Operação      | 42,57           | ○        | 3,1           |
| 23              | Pontear chapa frontal inferior - (3X)                                          | Operação      | 32,71           | ○        | 0,5           |
| 24              | Soldar parte frontal do conjunto - sem giro                                    | Operação      | 359,00          | ○        | 0,5           |
| 25              | Movimentar chapas superiores até gabarito                                      | Movimentação  | 41,29           | ➡        | 10,2          |
| 26              | Montar e posicionar chapas superiores no conjunto - Pontear (4X)               | Operação      | 20,29           | ○        | 1,1           |
| 27              | Soldar chapas superiores com turo                                              | Operação      | 30,04           | ○        | 0,5           |
| 28              | Girar gabarito 90°                                                             | Movimentação  | 29,14           | ➡        | 9,8           |
| 29              | Soldar conjunto parte frontal e ao redor do conjunto                           | Operação      | 517,29          | ○        | 6,0           |

|    |                                                                                                       |              |        |   |      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---|------|
| 30 | Montar grampos escamoteáveis (02 un.) para montar chapa                                               | Operação     | 9,43   | ○ | 0,3  |
| 31 | Montar chapas no conjunto com gabarito manual                                                         | Operação     | 40,43  | ○ | 7,5  |
| 32 | Pontear chapas no conjunto com gabarito manual e pinos localizadores - (4X)                           | Operação     | 31,57  | ○ | 0,5  |
| 33 | Soldar chapas ponteadas (02 un.)                                                                      | Operação     | 83,43  | ○ | 0,5  |
| 34 | Girar gabarito 180°                                                                                   | Movimentação | 28,29  | ➡ | 9,8  |
| 35 | Movimentar buchas e chapas até gabarito                                                               | Movimentação | 63,57  | ➡ | 18,8 |
| 36 | Montar bucha (01) e chapas (02) localizando no gabarito                                               | Operação     | 16,00  | ○ | 1,5  |
| 37 | Soldar conjunto no gabarito (lado suporte da escada)                                                  | Operação     | 217,86 | ○ | 3,0  |
| 38 | Soldar conjunto no gabarito (lado oposto suporte da escada)                                           | Operação     | 245,71 | ○ | 3,0  |
| 39 | Girar gabarito 270°                                                                                   | Movimentação | 21,57  | ➡ | 3,1  |
| 40 | Movimentar buchas (03) até gabarito                                                                   | Movimentação | 5,29   | ➡ | 1,5  |
| 41 | Montar buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                                           | Operação     | 24,86  | ○ | 1,5  |
| 42 | Pontear buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                                          | Operação     | 44,29  | ○ | 0,5  |
| 43 | Soldar conjunto no gabarito                                                                           | Operação     | 440,71 | ○ | 1,1  |
| 44 | Movimentar presilhas (04) até gabarito                                                                | Movimentação | 48,57  | ➡ | 15,0 |
| 45 | Pontear e Soldar presilhas (04) no conjunto                                                           | Operação     | 86,71  | ○ | 1,0  |
| 46 | Pontear e Soldar buchas (03 un.) no conjunto                                                          | Operação     | 33,71  | ○ | 1,0  |
| 47 | Girar gabarito 360°                                                                                   | Movimentação | 38,00  | ➡ | 3,1  |
| 48 | Soldar conjunto no gabarito                                                                           | Operação     | 48,14  | ○ | 21,6 |
| 49 | Remover pinos guias (04) e grampos - com uso de martelete                                             | Operação     | 53,71  | ○ | 21,6 |
| 50 | Lçar conjunto do gabarito até bancada para soldagem final - utilizar talha, linga e disp. De içamento | Movimentação | 123,00 | ➡ | 14,7 |
| 51 | Soldar conjunto na bancada                                                                            | Operação     | 25,86  | ○ | 1,5  |
| 52 | Girar conjunto na Bancada                                                                             | Movimentação | 12,14  | ➡ | 0,8  |

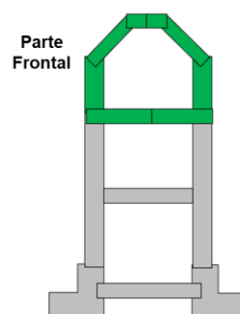
  


| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 16               | 162,8               | 570,80          |
| Operação     | 36               | 112,9               | 3321,76         |

Figura 23 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 2, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 24, é exposto o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 3, em que é montado o conjunto soldado denominado parte frontal. Observa-se que 85,89 m são percorridos pelo soldador para realizar as operações que agregam valor, em 2596,29 segundos, enquanto 66,40 m referem-se à movimentação de peças, com o tempo correspondente de 431,14 segundos. Assim, 44 % da distância percorrida pelo operador e 14% do tempo total desta operação são destinados às atividades que não agregam valor.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                      | Classificação | Tempo médio (s) | Símbolos | Distância (m) |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar e armazenar sub conjuntos na bancada                                                             | Movimentação  | 61,71           | →        | 30,6          |
| 2               | Soldar subconjuntos na bancada                                                                              | Operação      | 224,14          | ○        | 3,1           |
| 3               | Movimentar lateral direita menor da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                  | Movimentação  | 65,86           | →        | 2,8           |
| 4               | Movimentar lateral esquerda maior da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                 | Movimentação  | 49,57           | →        | 2,8           |
| 5               | Montar chapa frontal no gabarito na parte frontal (dobrada) - Travar 03 grampos, encaixar chapa espaçadora. | Operação      | 58,57           | ○        | 5,3           |
| 6               | Montar suportes do motor (04 un.)- Fechar 04 grampos - Utilizar escada 1 degrau                             | Operação      | 89,29           | ○        | 10,3          |
| 7               | Montar chapas traseiras (6 chapas) - Com uso de grampos (4) e pinos guia (04)                               | Operação      | 227,57          | ○        | 21,2          |
| 8               | Montar chapa traseira central dobrada, fixação por fuso e aperto com chave catraca                          | Operação      | 68,00           | ○        | 3,0           |
| 9               | Realizar aperto de fusos superiores contra laterais                                                         | Operação      | 35,86           | ○        | 0,3           |
| 10              | Montar chapas externas de içamento (02 un.)                                                                 | Operação      | 25,43           | ○        | 1,5           |
| 11              | Montar chapas externas dobradas com fusos e porcas (02 un.)                                                 | Operação      | 39,14           | ○        | 5,2           |
| 12              | Pontear chapa externa lateral (Lado Esquerdo)                                                               | Operação      | 43,86           | ○        | 3,6           |
| 13              | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado Esquerdo)                               | Operação      | 152,86          | ○        | 1,5           |
| 14              | Desmontar grampos, pinos de fixação chapas traseiras (ambos os lados)                                       | Operação      | 65,29           | ○        | 6,4           |
| 15              | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado direito)                                | Operação      | 192,71          | ○        | 3,2           |
| 16              | Pontear chapa externa lateral (Lado Direito)                                                                | Operação      | 34,71           | ○        | 3,2           |
| 17              | Girar gabarito 90°                                                                                          | Movimentação  | 22,71           | →        | 4,3           |
| 18              | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Direito)                                   | Operação      | 119,14          | ○        | 3,2           |
| 19              | Soldar conjunto -Uso banqueta - parte inferior (Lado Direito)                                               | Operação      | 216,71          | ○        | 3,2           |
| 20              | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Esquerdo)                                  | Operação      | 161,86          | ○        | 3,2           |
| 21              | Girar gabarito 180°                                                                                         | Movimentação  | 23,57           | →        | 4,3           |
| 22              | Soldar parte traseira do conjunto (lado direito e Lado esquerdo)                                            | Operação      | 377,00          | ○        | 2,0           |
| 23              | Girar gabarito 270°                                                                                         | Movimentação  | 18,14           | →        | 4,3           |
| 24              | Soldar parte superior e interna do conjunto - Utilizando escada de um degrau                                | Operação      | 372,43          | ○        | 2,0           |
| 25              | Girar gabarito 360°                                                                                         | Movimentação  | 19,71           | →        | 4,3           |
| 26              | Desmontar grampos, pinos de fixação, fusos de fixação                                                       | Operação      | 91,71           | ○        | 4,5           |
| 27              | Içar conjunto do dispositivo de soldagem até o piso - Utilizando Talha e linga com ganchos até o piso.      | Movimentação  | 83,71           | →        | 9,8           |
| 28              | Girar conjunto no piso com uso de linga e talha                                                             | Movimentação  | 86,14           | →        | 3,2           |



| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 09               | 66,40               | 431,14          |
| Operação     | 19               | 85,89               | 2596,29         |

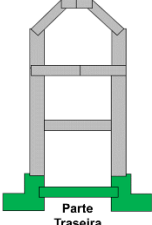
Figura 24 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 3, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 25, observa-se o gráfico do fluxo do processo referente ao Gabarito 4, em que é montado o conjunto soldado denominado parte traseira. Do valor total da distância de movimentação (211,1 m), apenas 80,6 m referem-se à movimentação integrada à operação, enquanto 130,5 m correspondem às movimentações de peças de um local para outro. O alto valor da distância apresentado para movimentar as peças se deve à disposição das embalagens no *layout* da estação de trabalho, em que as peças a serem utilizadas são armazenadas em seis tipos diferentes de embalagens, posicionadas em locais diferentes e distantes em relação ao gabarito 4. Além disso, o baixo valor referente à distância percorrida na operação, se deve à pequena dimensão do conjunto soldado neste gabarito. Do tempo total deste processo, 10 % correspondem à movimentação que não agrega valor ao produto.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                                                                                                  | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar chapas até bancada para soldagem dos subconjuntos                                                                                                                            | Movimentação  | 29,57           | ⇒        | 14,6          |
| 2               | Pontear e soldar sub conjuntos na bancada (chapa dobrada junto com reforços triangulares externos)                                                                                      | Operação      | 85,29           | ○        | 2,2           |
| 3               | Reposicionar escamoteáveis no dispositivo travando 02 grampos - 02 un.                                                                                                                  | Operação      | 33,57           | ○        | 7,9           |
| 4               | Movimentar chapa dobrada até gabarito de soldagem                                                                                                                                       | Movimentação  | 14,43           | ⇒        | 7,9           |
| 5               | Montar chapa dobrada no dispositivo de soldagem - subconjunto. Fechar 01 grampo                                                                                                         | Operação      | 7,29            | ○        | 1,0           |
| 6               | Montar chapas laterais no dispositivo - 02 un.                                                                                                                                          | Operação      | 22,14           | ○        | 1,5           |
| 7               | Movimentar 2 chapas até o dispositivo (reforços laterais - chapas menores)                                                                                                              | Movimentação  | 16,43           | ⇒        | 14,4          |
| 8               | Movimentar buchas até dispositivo - 04 un.                                                                                                                                              | Movimentação  | 22,57           | ⇒        | 5,1           |
| 9               | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador - Fechar 02 grampos - Parte superior e inferior (Lado Esquerdo)                                                    | Operação      | 51,57           | ○        | 1,5           |
| 10              | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador - Fechar 02 grampos - Parte superior e inferior (Lado Direto)                                                      | Operação      | 60,57           | ○        | 1,5           |
| 11              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.                                                                                                                        | Movimentação  | 31,57           | ⇒        | 14,3          |
| 12              | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos - Lado Esquerdo e Direto                                                                                                          | Operação      | 41,00           | ○        | 1,5           |
| 13              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.                                                                                                                        | Movimentação  | 47,00           | ⇒        | 10,8          |
| 14              | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos - Lado Esquerdo e Direto                                                                                                          | Operação      | 29,43           | ○        | 1,5           |
| 15              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un. (Chapas dobrados internas com 4 furos)                                                                                 | Movimentação  | 13,71           | ⇒        | 10,7          |
| 16              | Montar chapas dobradas internas com uso de localizador escamoteável, pinos guias e macetes - Lado Esquerdo e Direto.                                                                    | Operação      | 43,14           | ○        | 1,5           |
| 17              | Movimentar e montar tubos (superior e inferior) no conjunto.                                                                                                                            | Movimentação  | 45,00           | ⇒        | 14,8          |
| 18              | Movimentar chapas inferiores e buchas até dispositivos - Localizadas na parte inferior traseira do conjunto - 04 chapas/ 4 buchas. Utilizar macete                                      | Movimentação  | 14,57           | ⇒        | 3,1           |
| 19              | Montar chapas inferiores e buchas até dispositivos - Localizadas na parte inferior traseira do conjunto - 04 chapas/ 4 buchas. Utilizar macete (Lado Esquerdo e Direto) - Parte Externa | Operação      | 45,43           | ○        | 3,1           |
| 20              | Movimentar tubos diagonais até gabarito                                                                                                                                                 | Movimentação  | 40,29           | ⇒        | 14,2          |
| 21              | Montar tubos diagonais até o conjunto - 02 un.                                                                                                                                          | Operação      | 8,14            | ○        | 14,2          |
| 22              | Posicionar chapas reforços com uso de localizadores e grampos (parte superior tubos diagonais lado esquerdo e direito) - 04 un.                                                         | Operação      | 55,29           | ○        | 3,1           |
| 23              | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo (parte inferior tubos diagonais) - 04 un.                                                                                        | Operação      | 24,86           | ○        | 8,8           |
| 24              | Pontear conjunto parte superior - Lado esquerdo                                                                                                                                         | Operação      | 25,71           | ○        | 0,8           |
| 25              | Soldar conjunto parte superior - Lado esquerdo                                                                                                                                          | Operação      | 147,71          | ○        | 0,2           |
| 26              | Desmontar e remover grampos - lado esquerdo (04 un.)                                                                                                                                    | Operação      | 12,71           | ○        | 0,5           |
| 27              | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais) - Lado esquerdo                                                                                                         | Operação      | 228,86          | ○        | 0,5           |
| 28              | Soldar conjunto parte superior (entre chapas e tubos diagonais) - Lado direito utilizando escada com degrau                                                                             | Operação      | 379,57          | ○        | 0,8           |
| 29              | Pontear e soldar conjunto parte traseira - lado direito                                                                                                                                 | Operação      | 30,43           | ○        | 0,8           |
| 30              | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                                                                                                                                  | Operação      | 38,71           | ○        | 0,5           |
| 31              | Pontear chapa traseira no tubo com uso de localizador                                                                                                                                   | Operação      | 35,71           | ○        | 0,5           |
| 32              | Pontear parte superior do conjunto - Lado Direto                                                                                                                                        | Operação      | 30,14           | ○        | 4,1           |
| 33              | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais) - Lado esquerdo                                                                                                         | Operação      | 159,57          | ○        | 0,8           |

|    |                                                                                                                |              |        |   |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---|-----|
| 34 | Pontear e soldar conjunto parte traseira - Lado direito                                                        | Operação     | 16,71  | ○ | 0,5 |
| 35 | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                                                         | Operação     | 33,43  | ○ | 0,5 |
| 36 | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo (parte inferior tubos diagonais) - 04 un. (Lado Direto) | Operação     | 53,86  | ○ | 0,5 |
| 37 | Soldar conjunto parte traseira - Lado Esquerdo                                                                 | Operação     | 184,86 | ○ | 0,5 |
| 38 | Desmontar localizadores escamoteáveis e remover grampos - 02 un. ( parte traseira do conjunto)                 | Operação     | 23,00  | ○ | 0,5 |
| 39 | Pontear e Soldar chapas reforço parte traseira e interna do conjunto - 04 un. utilizar posicionador            | Operação     | 120,29 | ○ | 0,5 |
| 40 | Girar gabarito 90°                                                                                             | Movimentação | 36,71  | ⇒ | 6,8 |
| 41 | Soldar conjunto parte traseira - em pé                                                                         | Operação     | 455,14 | ○ | 0,4 |
| 42 | Soldar conjunto parte traseira - sentado                                                                       | Operação     | 396,00 | ○ | 0,4 |
| 43 | Soldar parte frontal do conjunto                                                                               | Operação     | 68,00  | ○ | 1,5 |
| 44 | Soldar conjunto parte inferior - utilizar banqueta                                                             | Operação     | 48,00  | ○ | 0,4 |
| 45 | Girar gabarito 180°                                                                                            | Movimentação | 25,86  | ⇒ | 4,6 |
| 46 | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                                                      | Operação     | 115,71 | ○ | 0,4 |
| 47 | Soldar conjunto parte interna lado esquerdo e direito - utilizar banqueta                                      | Operação     | 244,57 | ○ | 0,8 |
| 48 | Girar gabarito 270°                                                                                            | Movimentação | 18,00  | ⇒ | 4,6 |
| 49 | Posicionar buchas com posicionador no conjunto                                                                 | Operação     | 14,86  | ○ | 4,6 |
| 50 | Soldar buchas parte superior do conjunto                                                                       | Operação     | 93,71  | ○ | 0,4 |
| 51 | Soldar parte superior do conjunto - utilizar banqueta                                                          | Operação     | 267,43 | ○ | 0,4 |
| 52 | Soldar parte superior do conjunto - utilizar escada de 1 degrau                                                | Operação     | 145,43 | ○ | 0,4 |
| 53 | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                                                      | Operação     | 252,14 | ○ | 4,6 |
| 54 | Girar gabarito 360°                                                                                            | Movimentação | 16,29  | ⇒ | 4,6 |
| 55 | Abriu grampos, remover pinos para liberar conjunto do dispositivo                                              | Operação     | 107,86 | ○ | 4,6 |

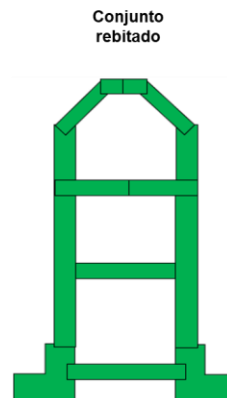
| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 14               | 163,7               | 372,00          |
| Operação     | 41               | 80,6                | 4237,86         |

Figura 25 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 4, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 26, pode-se observar o gráfico do fluxo do processo referente ao Gabarito 5, em que todos os conjuntos soldados produzidos nos demais gabaritos são unidos pelo processo de montagem/rebitagem. Observa-se que 91,38 m são referentes à movimentação integrada à operação, enquanto 253,12 m referem-se à

movimentação de peças. Nota-se que o total das distâncias percorridas no processo realizado neste gabarito é maior que os apresentados pelas atividades realizadas nos demais. O alto valor apresentado para as movimentações integradas à operação deve-se às elevadas dimensões do chassi (6,1 x 1,3 m), que fazem com que a movimentação ao redor do conjunto para se realizar as operações de rebitagem e montagem das peças seja grande. Quanto ao alto valor da distância de movimentação de peças, este ocorre devido ao transporte destas ser feito de forma individual e com equipamento de içamento, devido aos seus pesos e dimensões elevados.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                                                                          | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                     | Movimentação  | 201,14          | ⇒        | 23,2          |
| 2               | Montar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                         | Operação      | 21,29           | ○        | 1,5           |
| 3               | Movimentar e montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                           | Movimentação  | 222,43          | ⇒        | 20,2          |
| 4               | Montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                        | Operação      | 21,86           | ○        | 1,5           |
| 5               | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                          | Movimentação  | 122,00          | ⇒        | 15,3          |
| 6               | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                              | Operação      | 29,14           | ○        | 3,5           |
| 7               | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                         | Movimentação  | 133,86          | ⇒        | 15,3          |
| 8               | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                             | Operação      | 29,14           | ○        | 3,5           |
| 9               | Movimentar e encaixar apoios laterais fundidos no dispositivo de rebiteagem - 04 un. Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo) | Movimentação  | 68,43           | ⇒        | 48,2          |
| 10              | Movimentar e encaixar reforços internos com calços, 04 un. cada parte traseira e frontal - Lado esquerdo e direito. Movimentação manual                         | Movimentação  | 58,57           | ⇒        | 52,2          |
| 11              | Movimentar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)       | Movimentação  | 42,86           | ⇒        | 5,6           |
| 12              | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)         | Operação      | 72,71           | ○        | 1,0           |
| 13              | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido traseiro - 04 un.                                                                               | Operação      | 59,57           | ○        | 3,5           |
| 14              | Apertar parafusos do item fundido traseiro com uso de apertadeira pneumática                                                                                    | Operação      | 21,57           | ○        | 3,5           |
| 15              | Movimentar item fundido interno parte frontal - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)        | Movimentação  | 45,71           | ⇒        | 5,6           |
| 16              | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)         | Operação      | 72,71           | ○        | 1,0           |
| 17              | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido frontal - 04 un.                                                                                | Operação      | 32,71           | ○        | 3,5           |
| 18              | Apertar parafusos do item fundido frontal com uso de apertadeira pneumática                                                                                     | Operação      | 13,14           | ○        | 10,3          |
| 19              | Movimentar e encaixar rebites e colares nos 04 fundidos laterais - 16 un. (utilizar macete para melhor encaixe)                                                 | Movimentação  | 319,00          | ⇒        | 16,9          |
| 20              | Movimentar e encaixar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 un.                                                                                       | Movimentação  | 479,86          | ⇒        | 16,9          |
| 21              | Montar chapar traseira até conjunto para encaixar nos rebites                                                                                                   | Operação      | 8,29            | ○        | 11,1          |
| 22              | Montar chapar traseira, encaixar nos rebites e travar com uso de dispositivo posicionador tipo grampos 02 un.                                                   | Operação      | 27,29           | ○        | 1,5           |
| 23              | Rebitar rebites parte traseira - 8 vezes                                                                                                                        | Operação      | 84,86           | ○        | 5,8           |
| 24              | Rebitar rebites parte frontal - 8 vezes                                                                                                                         | Operação      | 106,71          | ○        | 16,8          |
| 25              | Rebitar chapara traseira - 02 rebites                                                                                                                           | Operação      | 51,43           | ○        | 3,1           |
| 26              | Rebitar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 un. (4 locais diferentes)                                                                               | Operação      | 298,71          | ○        | 20,3          |
| 27              | Movimentar conjunto do dispositivo de rebiteagem até carro de pintura                                                                                           | Movimentação  | 247,57          | ⇒        | 33,8          |



| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 11               | 253,12              | 1941,43         |
| Operação     | 16               | 91,38               | 951,14          |

Figura 26 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 5, conjunto rebitado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Ao analisar todos os gráficos do fluxo do processo, com seus valores de distância correspondentes, observa-se que há grande movimentação de peças não integradas às operações. A distância total percorrida em todas as operações, envolvendo os cinco gabaritos, é de 1080,15 m, dos quais 686,92 m, correspondem somente à movimentação de peças, constituindo ~ 64 % do valor total. Quanto ao

tempo, observa-se que de 279,6 min, 62,0 min referem-se às movimentações (22% do tempo total). Estas movimentações não agregam valor ao processo, portanto, devem ser reduzidas para melhoria da produtividade.

#### 4.2.3. Diagrama de Espaguete

Para melhor compreensão das movimentações realizadas dentro da estação de trabalho, o diagrama de espaguete foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 27. No *layout* atual, a maioria das embalagens estão dispostas nas extremidades da estação de trabalho, que possui área total de 213,84 m<sup>2</sup>. Destaca-se que as embalagens são abastecidas com as peças que serão utilizadas durante todo o processo de fabricação do chassi que ocorre nesta estação.

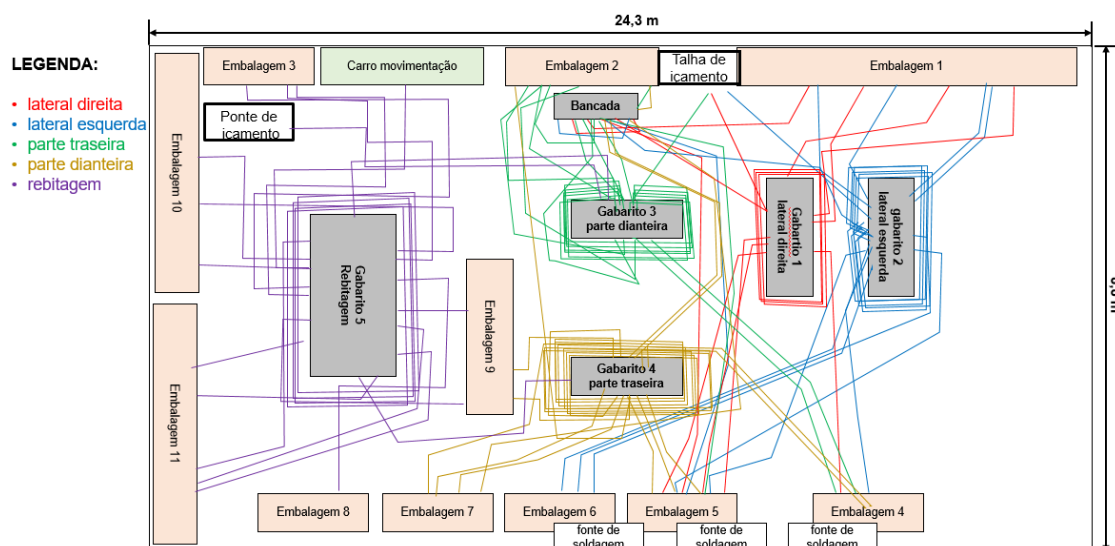


Figura 27 – Diagrama de espaguete para o processo atual (Autoria própria)

Algumas observações pontuais de movimentações que ocorrem a partir de cada gabarito podem ser elencadas, a saber:

Gabarito 1: o soldador busca peças nas embalagens 1 e 6 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; estes, por sua vez, são movimentados para o gabarito 1; para realização das demais operações, o soldador busca peças nas embalagens 1, 4, 5 e 6, à medida em que são necessárias; para finalizar, o operador movimenta-se para pegar a talha e levar o componente final deste gabarito para a bancada.

Gabarito 2: o soldador busca peças nas embalagens 1 e 6 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; estes, por sua

vez, são movimentados para o gabarito 2; neste local, peças são buscadas nas embalagens 1, 4, 5 e 6, quando estas são necessárias. Tendo em vista a quantidade de peças para realização das atividades neste gabarito, o número de deslocamentos até as embalagens é alto. Ao finalizar as atividades no gabarito, há deslocamento para utilizar a talha de içamento e movimentar o conjunto lateral esquerdo para a bancada.

Gabarito 3: o soldador busca peças nas embalagens 2 e 4 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; além destes, ele realiza a movimentação das laterais direita e esquerda, que aguardavam na bancada, para o gabarito 3, para tanto, desloca-se para utilizar a talha; para concluir o processo, ele desloca-se até a embalagem 4 e 5, buscando peças menores.

Gabarito 4: o soldador busca peças das embalagens 2 e 5 e leva até a bancada, onde são realizados a montagem e ponteamto dos subconjuntos; após essa etapa, estes são direcionados para o gabarito 4; neste local, peças são buscadas nas embalagens 4, 5, 6, 7 e 9 quando estas são necessárias, até finalização do ciclo.

Gabarito 5: o soldador busca o subconjunto montado frontal da bancada e o subconjunto montado traseiro do gabarito 4 e leva até o gabarito 5; movimenta duas vigas da embalagem 9; transita entre as embalagens 3, 10 e 11 para pegar peças, de acordo com a sequência de operação; finaliza movimentando o chassi até o carro de pintura que se encontra na outra extremidade da estação de trabalho.

#### **4.2.4. Gráfico homem-máquina**

Para avaliação da utilização da mão de obra e da máquina (fonte de soldagem) no processo, os gráficos homem-máquina foram construídos. Destaca-se que, na estação, existem 3 fontes de soldagem, que são utilizadas em momentos distintos. Cada fonte é utilizada nas operações em gabaritos diferentes, a saber: fonte 1 é utilizada no gabarito 1 e 2; fonte 2 é utilizada no gabarito 3; fonte 3 é utilizada no gabarito 4.

Na Figura 28, observa-se o gráfico construído para o processo relacionado ao gabarito 1. Nota-se que a utilização da mão de obra é de 100 %, tendo em vista que o soldador é responsável pelas movimentações, operações e manuseio da fonte de soldagem, que é considerada como a máquina neste trabalho. Assim, enquanto a máquina está ativa, o soldador também se encontra em operação. Para este gabarito, a fonte de soldagem fica inativa durante 79 % do tempo total gasto no processo.

| <b>Tempo (s)</b> | <b>Tarefa</b>                                                                           | <b>Homem</b> | <b>Máquina</b> |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
| 23,43            | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                                        |              |                |
| 30,43            | Soldar porca soldável e bucha na chapa inferior da Lateral                              |              |                |
| 8,00             | Movimentar chapa inferior sub conjunto até gabarito                                     |              |                |
| 3,57             | Montar chapa inferior sub conjunto no gabarito de soldagem                              |              |                |
| 18,29            | Movimentar chapa lateral e dobrada até o gabarito                                       |              |                |
| 3,86             | Montar chapa lateral no gabarito                                                        |              |                |
| 8,57             | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                               |              |                |
| 20,71            | Movimentar buchas, chapas internas e chapa lateral até gabarito                         |              |                |
| 115,00           | Montar buchas (04), chapas internas (02), chapa lateral e superior no gabarito          |              |                |
| 38,00            | Fechar grampos do gabarito - 06 un. (parte traseira)                                    |              |                |
| 18,29            | Movimentar chapas frontais e superiores até gabarito                                    |              |                |
| 27,57            | Montar chapas frontais - 02 unds                                                        |              |                |
| 34,43            | Montar chapas superiores - 02 un. (fechar 02 grampos)                                   |              |                |
| 296,00           | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |              |                |
| 17,14            | Movimentar-se até outro lado do gabarito                                                |              |                |
| 248,00           | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |              |                |
| 60,57            | Girar gabarito - Giro 30°                                                               |              |                |
| 557,86           | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |              |                |
| 47,57            | Girar gabarito - Giro 150°                                                              |              |                |
| 229,86           | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |              |                |
| 22,14            | Girar gabarito - Giro 270°                                                              |              |                |
| 126,00           | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |              |                |
| 25,57            | Movimentar presilhas soldáveis (02 un.) (Buscar da prateleira até gabarito)             |              |                |
| 21,00            | Montar e Soldar presilha (01 un.)                                                       |              |                |
| 17,00            | Girar gabarito - Giro 360°                                                              |              |                |
| 56,43            | Abrir grampos (9 un.), Remover Pinos guias localizadores                                |              |                |
| 61,29            | lçar conjunto soldado do gabarito até bancada. Utilizar talha e dispositivo de içamento |              |                |
| 49,29            | Movimentar conjunto do gabarito até bancada                                             |              |                |
| 24,00            | Soldar conjunto na bancada                                                              |              |                |
| 12,57            | Girar conjunto na bancada - Manualmente                                                 |              |                |
| 141,43           | Soldar conjunto na bancada                                                              |              |                |

|                              | <b>Homem</b> | <b>Máquina</b> |
|------------------------------|--------------|----------------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00         | 710,29         |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 2363,86      | 1653,57        |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 2363,86      | 2363,86        |
| <b>% Utilização</b>          | 100          | 69,95          |

Figura 28 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 1 (Autoria própria)

Cabe destacar que as fontes de soldagem são ligadas no início do turno de trabalho e se mantém em espera para ser utilizadas, conforme sequência das atividades. Nesse tempo em que não são acionadas, mas permanecem ligadas, as fontes consomem energia.

Na Figura 29, pode-se observar o gráfico homem-máquina para o processo relacionado ao gabarito 2. A porcentagem em que a sua respectiva fonte de soldagem fica inativa é de aproximadamente 26 % e o soldador permanece ativo durante todo o processo (100 % de utilização).

| Tempo (s) | Tarefa                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 21,57     | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                           |       |         |
| 36,14     | Soldar porcas soldáveis na chapa inferior da Lateral                       |       |         |
| 21,43     | Montar chapa inferior (sub) no gabarito de soldagem                        |       |         |
| 13,29     | Movimentar chapa lateral e chapa dobrada até gabarito                      |       |         |
| 4,71      | Montar chapa lateral no gabarito                                           |       |         |
| 7,57      | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                  |       |         |
| 19,80     | Movimentar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior para gabarito |       |         |
| 16,14     | Montar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior no gabarito       |       |         |
| 8,29      | Montar chapa lateral no gabarito                                           |       |         |
| 85,00     | Montar chapas internas no gabarito (2 un.)                                 |       |         |
| 41,43     | Montar chapas dobrada superior (01 un.), fechar grampo.                    |       |         |
| 18,71     | Movimentar chapas frontais e chapas internas até o gabarito                |       |         |
| 37,43     | Montar Chapas frontais (02 un.)                                            |       |         |
| 21,00     | Montar chapas internas frontais - 02 un. (fechar 02 grampos)               |       |         |
| 20,00     | Pontear Chapas frontais (2x)                                               |       |         |
| 35,00     | Movimentar chapa superior até gabarito                                     |       |         |
| 8,14      | Montar chapa superior. Fechar Grampos                                      |       |         |
| 576,71    | Soldar ao redor do conjunto no gabarito - sem realizar giro                |       |         |
| 51,57     | Movimentar chapas frontais até gabarito                                    |       |         |
| 10,86     | Montar chapas frontais no conjunto. Reforço (2) e Chapa principal (1)      |       |         |
| 22,57     | Pontear chapas frontais no conjunto - (2x)                                 |       |         |
| 42,57     | Pontear chapas com uso de gabarito manual - (5X)                           |       |         |
| 32,71     | Pontear chapa frontal inferior - (3X)                                      |       |         |
| 359,00    | Soldar parte frontal do conjunto - sem giro                                |       |         |
| 41,29     | Movimentar chapas superiores até gabarito                                  |       |         |
| 20,29     | Montar e posicionar chapas superiores no conjunto - Pontear (4X)           |       |         |
| 30,04     | Soldar chapas superiores com furo                                          |       |         |
| 29,14     | Girar gabarito 90°                                                         |       |         |
| 517,29    | Soldar conjunto parte frontal e ao redor do conjunto                       |       |         |
| 9,43      | Posicionar grampos escamoteáveis (02 un.) para montar chapa                |       |         |
| 40,43     | Montar chapas no conjunto com gabarito manual                              |       |         |
| 31,57     | Pontear chapas no conjunto com gabarito manual e pinos localizadores       |       |         |
| 83,43     | Soldar chapas ponteadas (02 un.)                                           |       |         |
| 28,29     | Girar gabarito 180°                                                        |       |         |
| 63,57     | Movimentar buchas e chapas até gabarito                                    |       |         |
| 16,00     | Montar bucha (01) e chapas (02) localizando no gabarito                    |       |         |
| 217,86    | Soldar conjunto no gabarito (lado suporte da escada)                       |       |         |
| 245,71    | Soldar conjunto no gabarito (lado oposto suporte da escada)                |       |         |
| 21,57     | Girar gabarito 270°                                                        |       |         |
| 5,29      | Movimentar buchas (03) até gabarito                                        |       |         |
| 24,86     | Montar buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                |       |         |
| 44,29     | Pontear buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual               |       |         |
| 440,71    | Soldar conjunto no gabarito                                                |       |         |
| 48,57     | Movimentar presilhas (04) até gabarito                                     |       |         |
| 86,71     | Pontear e Soldar presilhas (04) no conjunto                                |       |         |
| 33,71     | Pontear e Soldar buchas (03 un.) no conjunto                               |       |         |
| 38,00     | Girar gabarito 360°                                                        |       |         |
| 48,14     | Soldar conjunto no gabarito                                                |       |         |
| 53,71     | Remover pinos guias (04) e grampos - com uso de macete                     |       |         |
| 123,00    | Levar conjunto do gabarito até bancada para soldagem final                 |       |         |
| 25,86     | Soldar conjunto na bancada                                                 |       |         |
| 12,14     | Girar conjunto na Bancada                                                  |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 997,52  |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 3892,56 | 2895,04 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 3892,56 | 3892,56 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 74,37   |

Figura 29 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 2 (Autoria própria)

Na Figura 30, é mostrado o gráfico homem-máquina para as atividades do gabarito 3, em que se pode observar que há 37 % de inatividade da fonte de soldagem, em que esta fica ligada, mas sem ser acionada para realizar o processo. O soldador participa efetivamente de todas as etapas, com 100 % de atividade.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                                                      | Homem | Máquina |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 61,71     | Movimentar e armazenar sub conjuntos na bancada                                                             |       |         |
| 224,14    | Soldar subconjuntos na bancada                                                                              |       |         |
| 65,86     | Movimentar lateral direita menor da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                  |       |         |
| 49,57     | Movimentar lateral esquerda maior da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                 |       |         |
| 58,57     | Montar chapa frontal no gabarito na parte frontal (dobrada) - Travar 03 grampos, encaixar chapa espaçadora. |       |         |
| 89,29     | Montar suportes do motor (04 un.)- Fechar 04 grampos - Utilizar escada 1 degrau                             |       |         |
| 227,57    | Montar chapas traseiras ( 6 chapas) - Com uso de grampos (4) e pinos guia (04)                              |       |         |
| 68,00     | Montar chapa traseira central dobrada, fixação por fuso e aperto com chave catraca                          |       |         |
| 35,86     | Realizar aperto de fusos superiores contra laterais                                                         |       |         |
| 25,43     | Montar chapas externas de içamento (02 un.)                                                                 |       |         |
| 39,14     | Montar chapas externas dobradas com furos e porcas (02 un.)                                                 |       |         |
| 43,86     | Pontear chapa externa lateral (Lado Esquerdo)                                                               |       |         |
| 152,86    | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado Esquerdo)                               |       |         |
| 65,29     | Desmontar grampos, pinos de fixação chapas traseiras (ambos os lados)                                       |       |         |
| 192,71    | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado direito)                                |       |         |
| 34,71     | Pontear chapa externa lateral (Lado Direito)                                                                |       |         |
| 22,71     | Girar gabarito 90°                                                                                          |       |         |
| 119,14    | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Direito)                                   |       |         |
| 216,71    | Soldar conjunto -Uso banquetta - parte inferior (Lado Direito)                                              |       |         |
| 161,86    | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Esquerdo)                                  |       |         |
| 23,57     | Girar gabarito 180°                                                                                         |       |         |
| 377,00    | Soldar parte traseira do conjunto (lado direito e Lado esquerdo)                                            |       |         |
| 18,14     | Girar gabarito 270°                                                                                         |       |         |
| 372,43    | Soldar parte superior e interna do conjunto - Utilizando escada de um degrau                                |       |         |
| 19,71     | Girar gabarito 360°                                                                                         |       |         |
| 91,71     | Desmontar grampos, pinos de fixação, fusos de fixação                                                       |       |         |
| 83,71     | Içar conjunto do dispositivo de soldagem até o piso - Utilizando Talha e linga com ganchos até o piso.      |       |         |
| 86,14     | Girar conjunto no piso com uso de linga e talha                                                             |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 1259,71 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 3027,43 | 1895,43 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 3027,43 | 3155,14 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 62,60   |

Figura 30 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 3 (Autoria própria)

O gráfico homem-máquina para o gabarito 4 é mostrado na Fig. 31. Neste caso, a máquina fica inativa durante 21,34 % do tempo total das atividades. O soldador, ao realizar todas as atividades, possui utilização de 100 %.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 29,57     | Movimentar chapas até bancada para soldagem dos subconjuntos               |       |         |
| 85,29     | Pontear e soldar sub conjuntos na bancada                                  |       |         |
| 33,57     | Reposicionar escamoteáveis no dispositivo travando 02 grampos - 02 un.     |       |         |
| 14,43     | Movimentar chapa dobrada até gabarito de soldagem                          |       |         |
| 7,29      | Montar chapa dobrada no dispositivo de soldagem - subconjunto              |       |         |
| 22,14     | Montar chapas laterais no dispositivo - 02 un.                             |       |         |
| 16,43     | Movimentar 2 chapas até o dispositivo (reforços laterais - chapas menores) |       |         |
| 22,57     | Movimentar buchas até dispositivo - 04 un.                                 |       |         |
| 51,57     | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador -     |       |         |
| 60,57     | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador       |       |         |
| 31,57     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 41,00     | Montar chapas dobradas (02 un.) - Lado Esquerdo e Direito                  |       |         |
| 47,00     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 29,43     | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos                      |       |         |
| 13,71     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 43,14     | Montar chapas dobradas internas - Lado Esquerdo e Direito.                 |       |         |
| 45,00     | Movimentar e montar tubos (superior e inferior) no conjunto.               |       |         |
| 14,57     | Movimentar chapas inferiores e buchas até dispositivos                     |       |         |
| 45,43     | Montar chapas inferiores e buchas até dispositivos                         |       |         |
| 40,29     | Movimentar tubos diagonais até gabarito                                    |       |         |
| 8,14      | Montar tubos diagonais até o conjunto - 02 un.                             |       |         |
| 55,29     | Posicionar chapas reforços - 04 un.                                        |       |         |
| 24,86     | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo                     |       |         |
| 25,71     | Pontear conjunto parte superior - Lado esquerdo                            |       |         |
| 147,71    | Soldar conjunto parte superior - Lado esquerdo                             |       |         |
| 12,71     | Desmontar e remover grampos - lado esquerdo (04 un.)                       |       |         |
| 228,86    | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais)            |       |         |
| 379,57    | Soldar conjunto parte superior entre chapas e tubos diagonais)             |       |         |
| 30,43     | Pontear e soldar conjunto parte traseira - lado direito                    |       |         |
| 38,71     | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                     |       |         |
| 35,71     | Pontear chapa traseira no tubo com uso de localizador                      |       |         |
| 30,14     | Pontear parte superior do conjunto - Lado Direito                          |       |         |
| 159,57    | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais)            |       |         |
| 16,71     | Pontear e soldar conjunto parte traseira - Lado direito                    |       |         |
| 33,43     | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                     |       |         |
| 53,86     | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo                     |       |         |
| 184,86    | Soldar conjunto parte traseira - Lado Esquerdo                             |       |         |
| 23,00     | Desmontar localizadores escamoteáveis e remover grampos                    |       |         |
| 120,29    | Pontear e Soldar chapas reforço parte traseira e interna do conjunto       |       |         |
| 36,71     | Girar gabarito 90°                                                         |       |         |
| 455,14    | Soldar conjunto parte traseira - em pé                                     |       |         |
| 396,00    | Soldar conjunto parte traseira - sentado                                   |       |         |
| 68,00     | Soldar parte frontal do conjunto                                           |       |         |
| 48,00     | Soldar conjunto parte inferior - utilizar banqueta                         |       |         |
| 25,86     | Girar gabarito 180°                                                        |       |         |
| 115,71    | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                  |       |         |
| 244,57    | Soldar conjunto parte interna lado esquerdo e direito - utilizar banqueta  |       |         |
| 18,00     | Girar gabarito 270°                                                        |       |         |
| 14,86     | Posicionar buchas com posicionador no conjunto                             |       |         |
| 93,71     | Soldar buchas parte superior do conjunto                                   |       |         |
| 267,43    | Soldar parte superior do conjunto - utilizar banqueta                      |       |         |
| 145,43    | Soldar parte superior do conjunto - utilizar escada de 1 degrau            |       |         |
| 252,14    | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                  |       |         |
| 16,29     | Girar gabarito 360°                                                        |       |         |
| 107,86    | Abrir grampos, remover pinos para liberar conjunto do dispositivo          |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 1236,00 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 4609,86 | 3624,57 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 4609,86 | 4860,57 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 78,63   |

Figura 31 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 4

Na Figura 32, tem-se o gráfico homem-máquina para o gabarito 5, em que são realizadas as montagens finais do chassi. É importante destacar que nenhuma fonte de soldagem é utilizada neste processo. Apesar disso, elas ficam ligadas durante todo o tempo de operação.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                                                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 201,14    | Movimentar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                |       |         |
| 21,29     | Montar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                    |       |         |
| 222,43    | Movimentar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                               |       |         |
| 21,86     | Montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                   |       |         |
| 122,00    | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                     |       |         |
| 29,14     | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                         |       |         |
| 133,86    | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                    |       |         |
| 29,14     | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                         |       |         |
| 68,43     | Movimentar apoios laterais fundidos até o dispositivo de rebiteagem - 04 unds. Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)  |       |         |
| 58,57     | Movimentar reforços internos com calços, 04 un. cada parte traseira e frontal - Lado esquerdo e direito. Movimentação manual                               |       |         |
| 42,86     | Movimentar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo) |       |         |
| 72,71     | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)   |       |         |
| 59,57     | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido traseiro - 04 un.                                                                          |       |         |
| 21,57     | Apertar parafusos do item fundido traseiro com uso de apertadeira pneumática                                                                               |       |         |
| 45,71     | Movimentar item fundido interno parte frontal - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)  |       |         |
| 72,71     | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)   |       |         |
| 32,71     | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido frontal - 04 un.                                                                           |       |         |
| 13,14     | Apertar parafusos do item fundido frontal com uso de apertadeira pneumática                                                                                |       |         |
| 319,00    | Movimentar rebites e colares nos 04 fundidos laterais - 16 un. (utilizar macete para melhor encaixe)                                                       |       |         |
| 479,86    | Movimentar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 un.                                                                                             |       |         |
| 8,29      | Montar chapa traseira até conjunto para encaixar nos rebites                                                                                               |       |         |
| 27,29     | Montar chapa traseira, encaixar nos rebites e travar com uso de dispositivo posicionador tipo grampos 02 un.                                               |       |         |
| 84,86     | Rebitar rebites parte traseira - 8 vezes                                                                                                                   |       |         |
| 106,71    | Rebitar rebites parte frontal - 8 vezes                                                                                                                    |       |         |
| 51,43     | Rebitar chapara traseira - 02 rebites                                                                                                                      |       |         |
| 298,71    | Rebitar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 unds (4 locais diferentes)                                                                         |       |         |
| 247,57    | Movimentar conjunto do dispositivo de rebiteagem até carro de pintura                                                                                      |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 2892,57 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 2892,57 | 0,00    |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 2892,57 | 2892,57 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 0,00    |

Figura 32 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 5 (Autoria própria)

Conforme observações realizadas por meio dos gráficos homem-máquina, tem-se que as fontes de soldagem ficam ligadas, consumindo energia, durante um longo período, sem ser utilizadas. Para sua análise detalhada, um gráfico com o tempo total de inatividade de cada fonte de soldagem, em um ciclo de trabalho, foi construído, conforme mostrado na Fig. 33. nota-se que, considerando um ciclo de trabalho de 300 minutos, cada fonte de soldagem permanece ligada por mais de 200 minutos sem utilização.

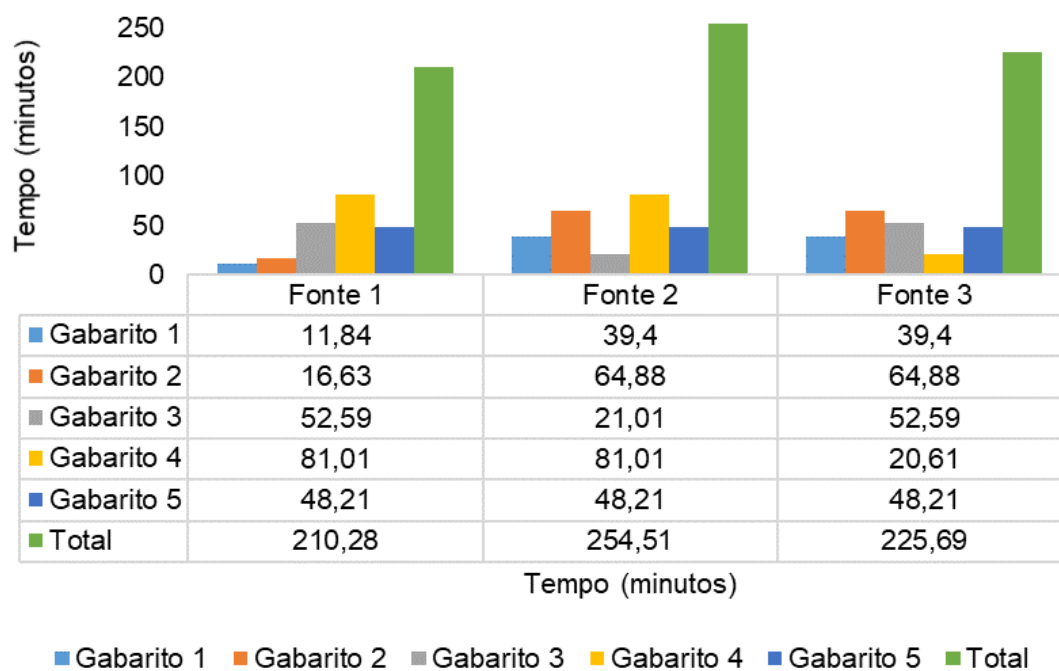


Figura 33 – Tempo total de inatividade das fontes de soldagem durante um ciclo de trabalho (Autoria própria)

### 4.3. Análise de atividades necessárias não realizadas

Ao analisar as sete amostras coletadas e confrontar as atividades desenvolvidas com a definição de processo pela engenharia de fábrica, constatou-se que algumas atividades necessárias para manutenção do padrão de qualidade e segurança exigido pela empresa não estão sendo executadas, a saber:

Aplicação de antirrespingo, na parte traseira (gabarito 4), antes de iniciar o processo de soldagem (tempo padrão: 2,01 min);

No gabarito 5, na rebitagem, não foram evidenciadas a inspeção visual e a gravação de letras (sinete) para controle de rastreabilidade da fabricação por turno de trabalho (tempo padrão: 1,01 min);

No gabarito 5, em uma amostra coletada, observou-se que algumas peças acima de 16 kg foram movimentadas manualmente e, conforme política de segurança e ergonomia, estas movimentações devem ser realizadas com o uso de dispositivo de içamento e movimentação.

### 4.4. Estudo de Tempos

Primeiramente, calculou-se o tempo normal, considerando o ritmo do operador, que, no caso avaliado adotou-se o valor de 90%, pois constatou-se que o colaborador realizava as tarefas de forma consistente, porém com velocidade abaixo do ritmo normal. Para velocidade de operação normal atribui-se valor de 100% (Peinado e Graeml, 2007). Na Tab. 5, é mostrado o tempo normal calculado para a estação de trabalho, em que o valor é de 15.096,72 segundos (251,61 minutos).

Tabela 5 – Tempo normal para a estação de trabalho analisada

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| <b>Tempo Selecionado (s)</b> | 16774,13 |
| <b>Ritmo Percentual (%)</b>  | 90%      |
| <b>Tempo Normal (s)</b>      | 15096,72 |

Fonte: Autoria própria

A partir desse valor encontrado, pode-se calcular o tempo padrão, que deve considerar tolerâncias para necessidades pessoais, fadiga e esperas etc. Na empresa, há os seguintes fatores considerados:

*Tolerância para atraso:* refere-se a tempos não mensuráveis ou interrupções não diretamente relacionadas com a produção, como por exemplo: contatar supervisor, realizar limpeza e organização (5S), vestir EPIs, limpar a área de trabalho

etc. Na empresa, esse fator é de 1,04, assim, deve-se multiplicar o tempo normal por esse valor.

*Tolerância para fadiga:* refere-se ao tempo disponibilizado para necessidades pessoais, descanso ou recuperação do operador. Na empresa, esse fator é de 1,15, assim, deve-se multiplicar o tempo normal por esse valor.

Assim, considerando o tempo normal e estes dois valores, o tempo padrão atual pode ser calculado conforme mostrado na Tab.6

Tabela 6 – Tempo padrão para o processo desenvolvido na estação analisada

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| <b>Tempo Normal (s)</b>   | 150,9672 |
| <b>Tolerância Atraso</b>  | 1,04     |
| <b>Tolerância Fadiga</b>  | 1,15     |
| <b>Tempo Padrão (s)</b>   | 18055,67 |
| <b>Tempo Padrão (min)</b> | 300,93   |

Fonte: Autoria própria

Observa-se que o tempo padrão para a estação de trabalho é de 300,93 min e o tempo destinado para tolerância para atrasos e fadigas, neste ciclo avaliado, é de 49 minutos o que corresponde a 16%. De acordo com Groover (2013), para atividades leves e médias é tipicamente utilizado o valor de 5 % e, para atividades pesadas, esse valor pode chegar até 20%.

#### 4.6. Possíveis soluções

Ao realizar análises dos dados obtidos a partir da aplicação de todas as ferramentas, algumas constatações foram feitas e melhorias propostas.

##### 4.6.1 Proposta de novo Layout

Ao observar as movimentações de maneira visual, pelo diagrama de espaguete, observou-se que há diversos pontos de cruzamento e longas distâncias percorridas pelo soldador. Assim, análises no *layout* foram feitas de maneira a identificar melhorias neste, objetivando a redução do deslocamento. As sugestões de alterações foram discutidas com os engenheiros responsáveis pela estação de trabalho e validadas por estes, quanto às normas de espaço necessárias para realização das atividades. As sugestões de alteração, respeitando as restrições do processo são:

- Posicionamento das embalagens das peças próximo ao gabarito onde serão utilizadas;
- Posicionamento dos gabaritos de forma sequencial para tornar o fluxo mais claro e reduzir as distâncias entre estes.

Na Figura 34, pode-se observar o projeto do *layout* proposto, considerando as observações supracitadas. É importante destacar que essa proposta possibilita a redução da área da estação de trabalho em 24,64 m<sup>2</sup>, conforme mostrado na Fig. 35. Na empresa, o valor do m<sup>2</sup> é avaliado em R\$ 5.800,00. Considerando essa proposta de *layout*, tem-se uma redução no valor de investimento de espaço de R\$ 142.912,00. Assim, além de possibilitar redução na movimentação, essa readequação pode reduzir investimento em espaço.

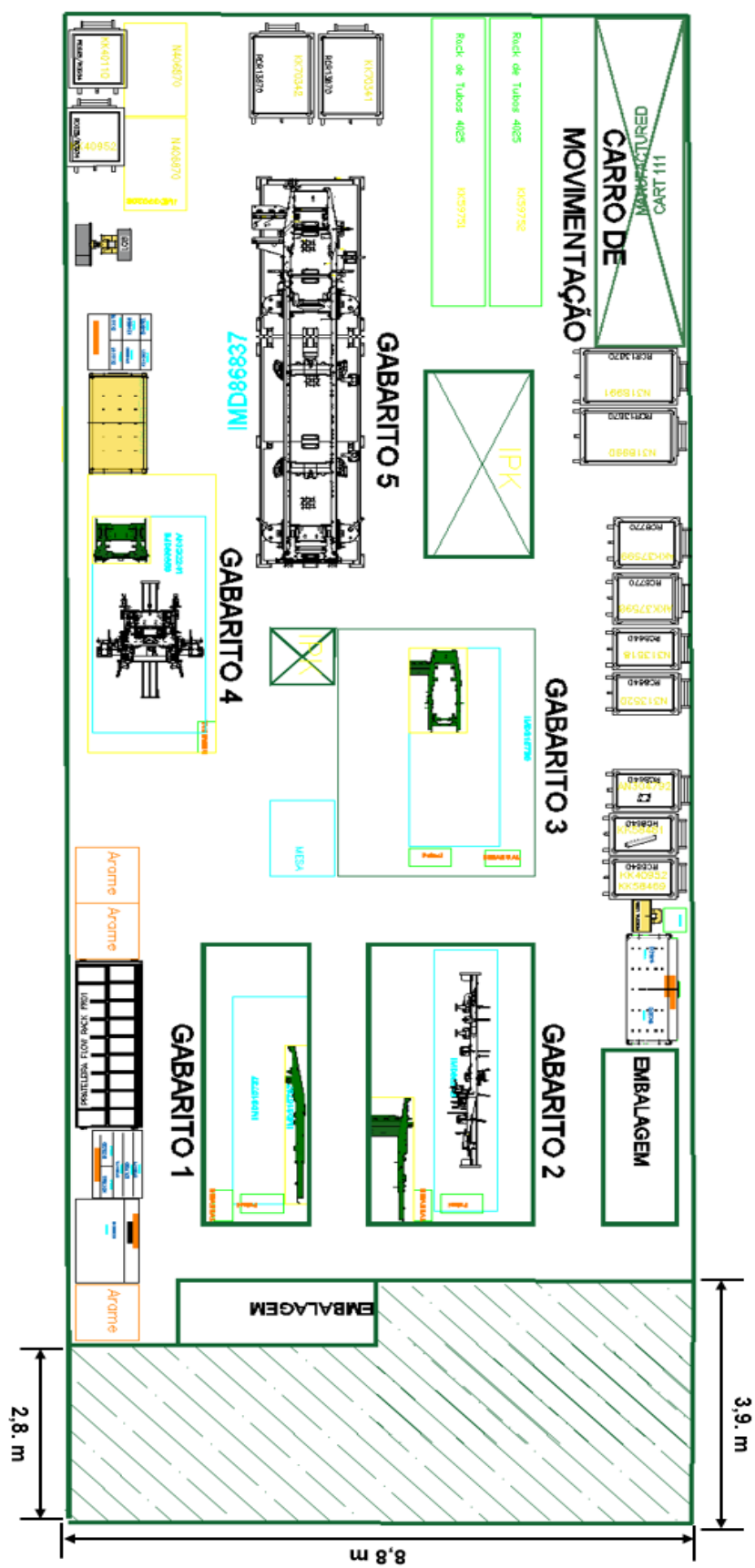


Figura 34 – Projeto do *Layout* proposto

O espaço proporcionado pela adequação do layout pode ser empregado para outras atividades da organização. Uma necessidade atual é a criação de um local para qualificação de soldadores, que é feita de maneira não estruturada. Assim, pode-se organizar o espaço criado de maneira a possibilitar a realização de treinamento de soldadores.

Além disso, esse espaço pode ser utilizado para realizar treinamentos de reciclagem, tendo em vista a necessidade identificada ao constatar que algumas atividades necessárias não estão sendo executadas e algumas não estão de acordo com as políticas de segurança da empresa, conforme exposto na sessão 4.3.

#### **4.6.2 Proposta de Novo Fluxo de Processo**

Uma constatação importante realizada nas análises dos resultados no emprego das ferramentas é que o soldador fica ativo em todas as atividades, sendo responsável pelas movimentações, montagens, soldagens etc. Destaca-se que este profissional é qualificado para operação de soldagem, com nível técnico superior (em uma escala de 1 a 4, este é soldador nível 4). O salário aumenta conforme o nível. Assim, tem-se que há a utilização de mão de obra qualificada para realizar operações de menor complexidade, que poderiam ser realizadas por um soldador nível 1. Portanto, sugere-se que seja feita a divisão das atividades de forma que o soldador de maior qualificação (nível 4) opere, em sua maioria, atividades que demandem mão de obra mais qualificada.

Desta forma, o presente trabalho propõe uma divisão de tarefas conforme é mostrado na Fig. 35. Nota-se que há a sugestão da inserção de mais um operador para desenvolvimento das atividades nesta estação de trabalho. Este, soldador de nível 1, seria responsável por atividades menos complexas, como movimentação, montagem e rebitagem.

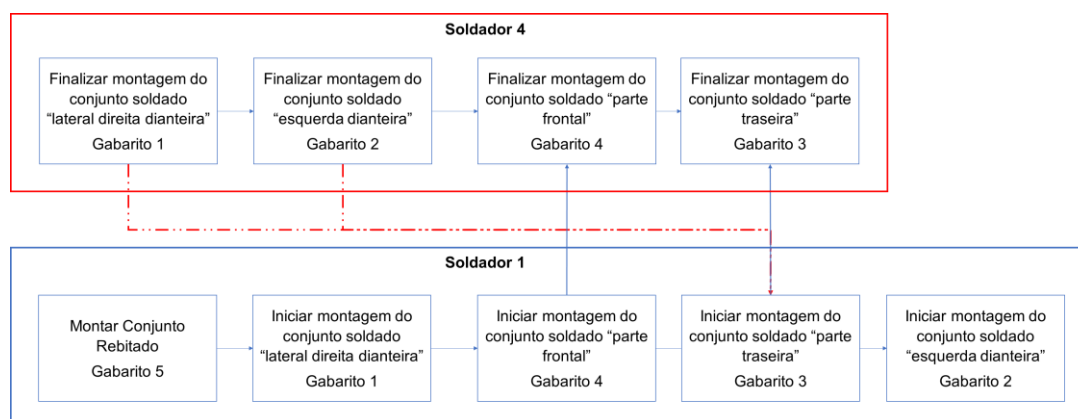


Figura 35 – Fluxograma proposto, considerando dois soldadores, um de nível 1 e um de nível 4 (Autoria própria)

O fluxograma proposto foi idealizado considerando um cenário com as seguintes características:

- As atividades do gabarito 3 e 4 deverão ser concluídas, no final de cada turno, de forma a possibilitar a montagem do chassi, no gabarito 5 pelo soldador 1, no início do próximo turno.
- As atividades iniciais realizadas nos gabaritos 1 e 2 deverão ser concluídas pelo soldador 1 em cada ciclo de trabalho, de forma a possibilitar que, no próximo ciclo, o soldador 4 execute as suas atividades nestes gabaritos no início do turno de trabalho.

Assim, observa-se que, no fluxograma proposto, o soldador de nível 1 (Soldador 1) irá realizar as atividades menos complexas, que se concentram, em sua maioria, no início do processo realizado em cada gabarito. Além disso, destaca-se que, no gabarito 5, todas as atividades serão desenvolvidas pelo soldador 1, pois elas correspondem a atividades de movimentação, montagens e rebites, não sendo necessária a mão de obra especializada no nível 4 para serem desenvolvidas.

Os fluxogramas das atividades a serem desenvolvidas por cada operador (soldador 1 e 4) em cada gabarito, podem ser observados nas Figuras 36 até 44.



Figura 36 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 5, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

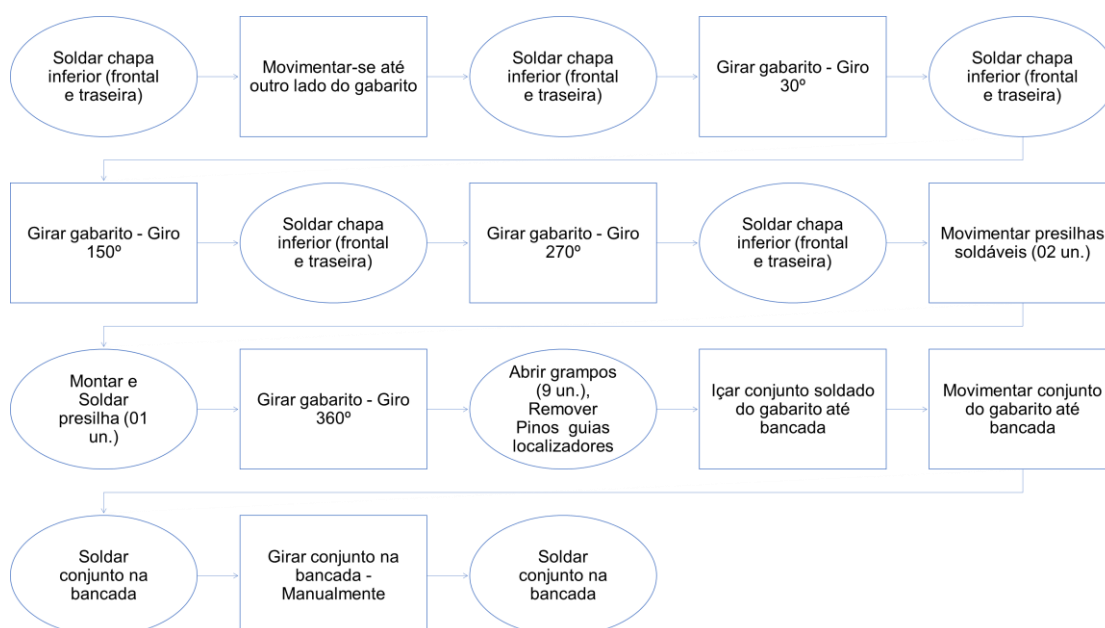


Figura 37 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

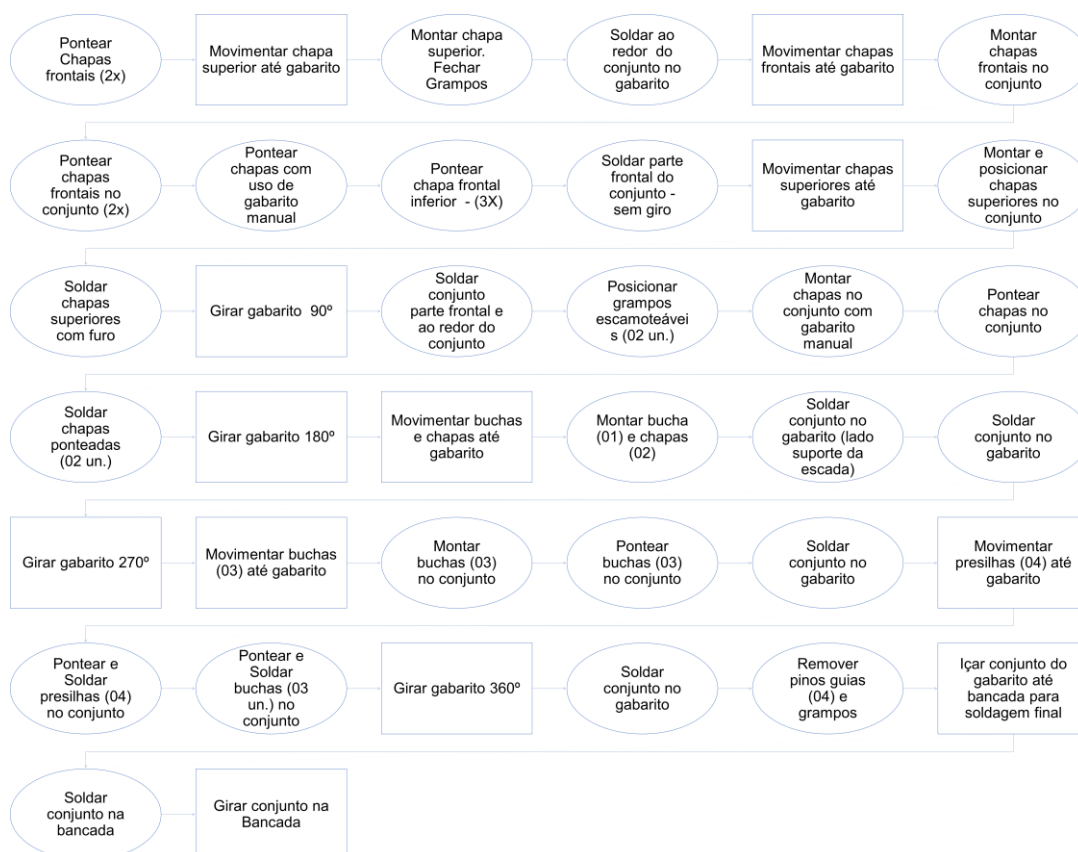


Figura 38 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

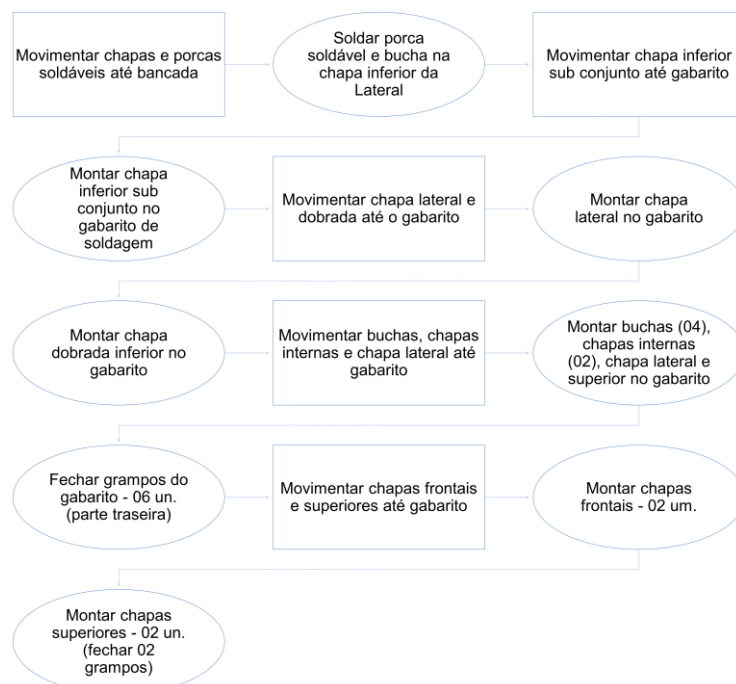


Figura 39 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 1 (Autoria própria)



Figura 40 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 1 (Autoria própria)



Figura 41 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

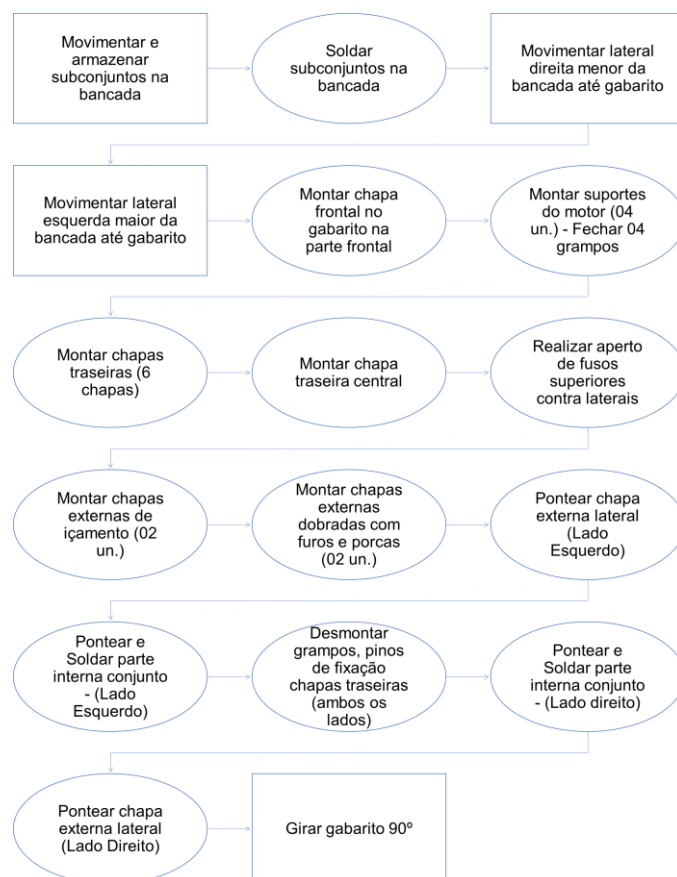


Figura 42 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

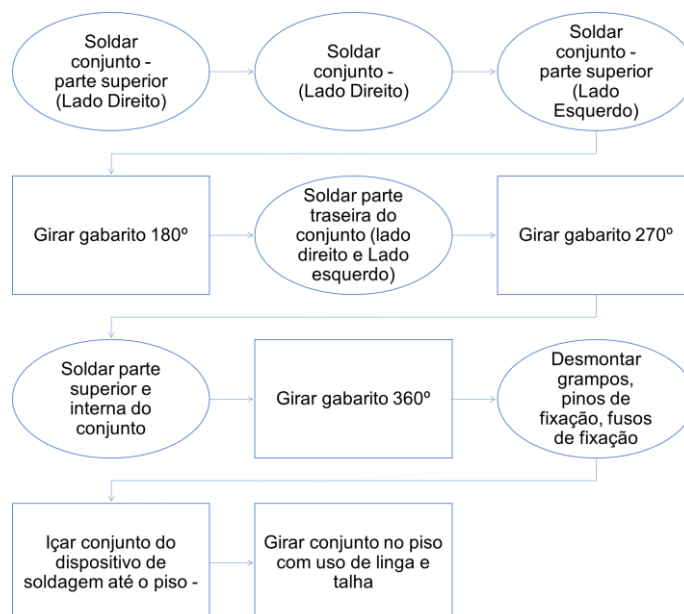


Figura 43 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

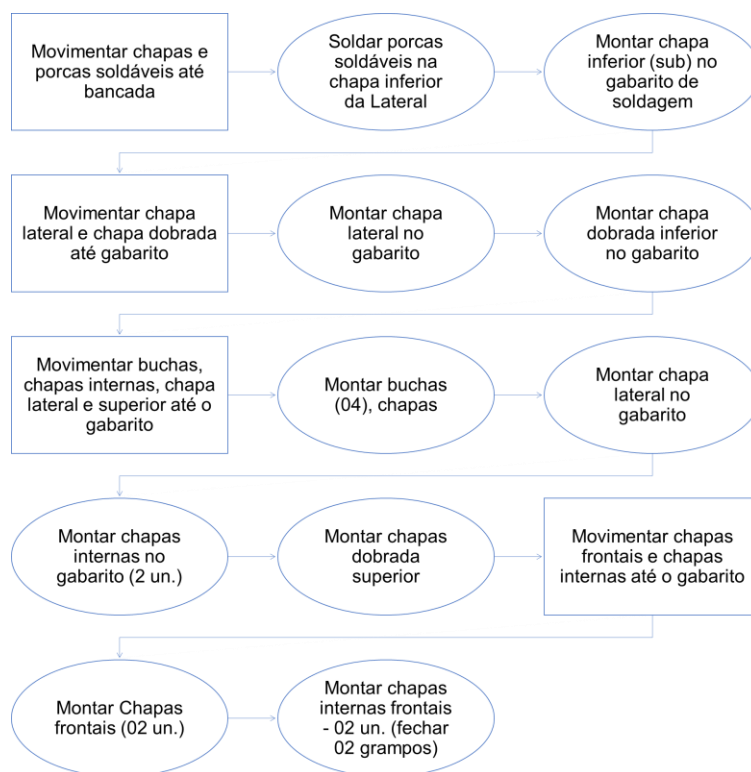


Figura 44 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

Portanto, neste ciclo avaliado, o soldador de nível 4 operaria durante 180 min, no lugar de 279 min, conforme pode ser observado no gráfico da Fig. 45. Assim, ele poderia desenvolver atividades mais complexas em outras estações de trabalho, porém não estando no escopo deste estudo. O soldador de nível 1 operaria durante 99,2 min, nesta estação de trabalho.

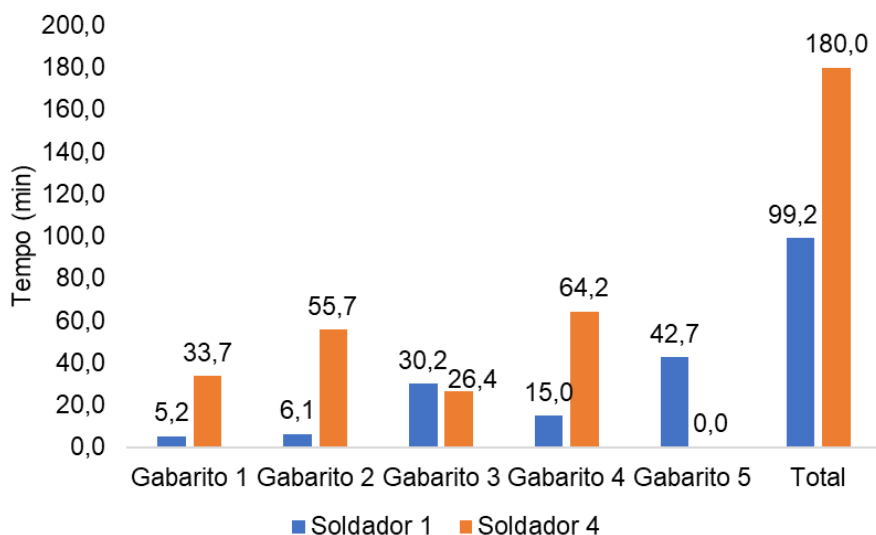


Figura 45 – Gráfico do tempo de processo em cada gabarito para cada soldador no cenário proposto (Autoria própria)

Quanto à distância de deslocamento com o novo cenário, tem-se uma redução de 121,14 m a serem percorridos, que correspondem a 11 % do valor atual, conforme pode ser observado na Fig. 46. Nota-se que houve uma redução na distância de movimentação de peças, mas um aumento no deslocamento durante as operações.

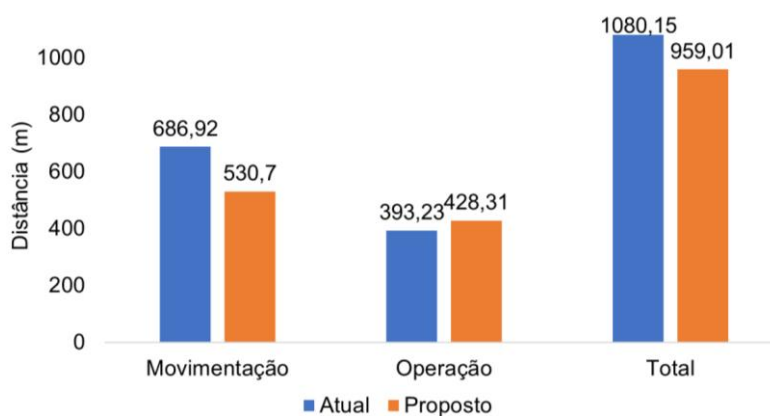


Figura 46 – Gráfico da distância a ser percorrida pelos soldadores no cenário proposto (Autoria própria)

Cabe destacar que, além de reduzir o tempo de processo e deslocamento da estação de trabalho investigada em aproximadamente 99 minutos e 121,14 metros, respectivamente, este fluxograma proposto permite a redução do custo da mão de obra. Considerou-se o salário médio do soldador no Brasil, de acordo com seu nível, sendo que o Soldador menos experiente (denominado soldador 1), recebe aproximadamente R\$ 19,00/h trabalhada e o Soldador mais experiente (denominado soldador) soldador recebe aproximadamente R\$ 11,00/h. Considerando estes valores

e os tempos em que cada um realizará atividades nesta estação de trabalho e que são produzidos 402 chassis por ano, poderá ocorrer uma redução anual de 9%, aproximadamente R\$ 3184,89 com mão de obra, nesta estação de trabalho, conforme sumarizado na Tab. 7. Este ganho pode ser maximizado ao passo que, com dois soldadores, ambos podem ser aproveitados em outras estações de trabalho, estudo este que não compreende o objetivo deste trabalho.

Tabela 7 – Custos com mão de obra para o cenário atual e proposto

| Descrição                                     | Valor (R\$) |
|-----------------------------------------------|-------------|
| Valor da mão de obra/Soldador 1               | 11,00       |
| Valor da mão de obra/Soldador 4               | 19,00       |
| Valor da mão de obra atual para a estação/ano | 35516,70    |
| Valor proposto da mão de obra para a estação  | 32331,81    |
| Diferença entre valor proposto e atual        | 3184,89     |

Fonte: Autoria própria

Cabe considerar que, na organização, existem 20 estações de trabalho com operações semelhantes às analisadas neste estudo. Em todas elas, há atividades que podem ser divididas para operadores de níveis distintos, possibilitando a redução no tempo de processo e nos custos de mão de obra, conforme exemplo desta estação investigada.

Destaca-se que, para execução do fluxograma de atividades proposto, em que há atividades realizadas de forma paralela (atualmente, todas são realizadas em série), deve-se respeitar as restrições do processo. Para esta análise, um gráfico de Gantt foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 47. Observa-se que o soldador 4 finaliza suas atividades em 180,0 min. Já o soldador 1 finalizará antes, em 125,7 min, e ficará 26,5 min ocioso, aguardando a finalização das atividades do gabarito 2 para realizar as do gabarito 3. Apesar do tempo ocioso gerado para o soldador 1, os custos com mão de obra e o tempo de processo foram reduzidos.

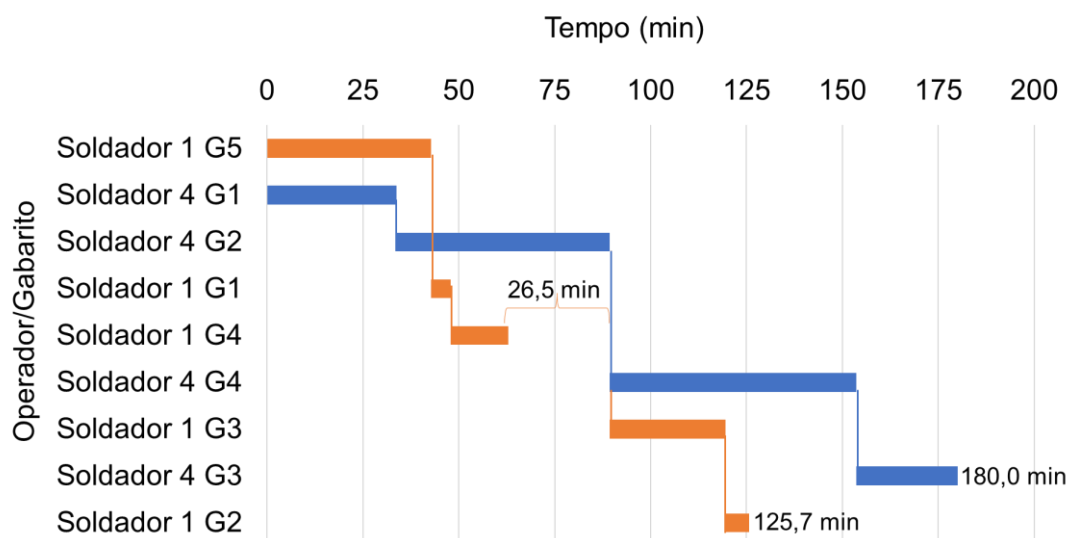


Figura 47 – Gráfico de Gantt para as atividades executadas nos 5 gabaritos, pelos dois soldadores (Autoria própria)

Para o tempo ocioso gerado, sugere-se que o soldador 1, desloque-se para a próxima estação de trabalho (distância de 5 m), para iniciar as atividades desta e depois retorne para a estação analisada. Ao finalizar o processo nesta estação, o soldador 1, pode voltar para a próxima estação e dá prosseguimento as suas atividades. Quando o soldador 4 finalizar as atividades do último gabarito, ele poderá se deslocar para a próxima estação. Outra sugestão é que esse tempo seja utilizado para realização de treinamentos de forma a desenvolver as habilidades do soldador nível 1 para que este cresça e atinja níveis superiores.

#### 4.4.2 Análise do período de inatividade das fontes

Durante as análises do gráfico homem-máquina, observou-se que a fonte de soldagem fica ligada durante todo o processo realizado na estação de trabalho, mesmo quando esta está inativa. Isso contribui para aumento dos custos de produção. Portanto, ao reduzir o tempo de processo, o período relativo à inatividade das fontes de soldagem também será reduzido, conforme mostrado nos gráficos das figuras 48 e 49.

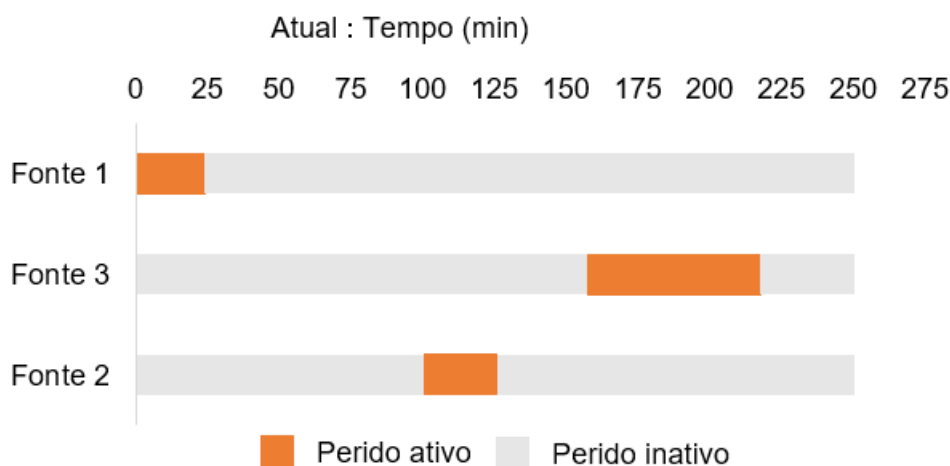


Figura 48 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário atual (Autoria própria)

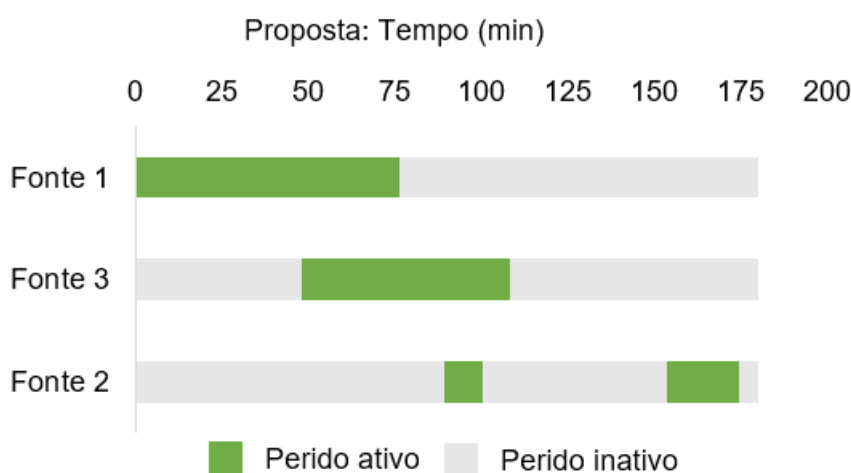


Figura 49 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário proposto (Autoria própria)

Nota-se que, de acordo com o cenário proposto em que há dois colaboradores trabalhando em paralelo, as fontes também serão utilizadas desta maneira. Conforme sequenciamento de atividades redefinidas, a fonte de soldagem 1 é a primeira a ser ativada durante 76,50 min. Após esse período, a fonte fica inativa até finalização do processo da estação. A partir do tempo de 47,91 min, a fonte 3 é utilizada durante 60,16 min. Após esse período, até finalizar o processo na estação, a fonte fica inativa. No instante de 89,40 min a fonte 2 é ativada. As atividades iniciais demandam 10,80 min e, após esse período, a fonte fica inativa aguardando o início das próximas operações, que ocorrerá no momento de 153,60 min. A fonte ficará ativa durante 20,78 min e inativa em 5,62 min. Portanto, tem-se que o tempo total de inatividade para a

fonte 1, no cenário proposto, é de 76,50 min, para a fonte 2 de 119,84 min e para a fonte 3 de 148,42 min.

#### 4.4.4 Diagrama de espaguete para o cenário proposto

Com a proposta de alteração de layout e considerando o novo fluxo de atividades, o diagrama de espaguete foi construído, conforme mostrado na Fig. 50. Nota-se que houve redução na maioria das distâncias percorridas, corroborando com os valores mostrados na sessão 4.4.2.

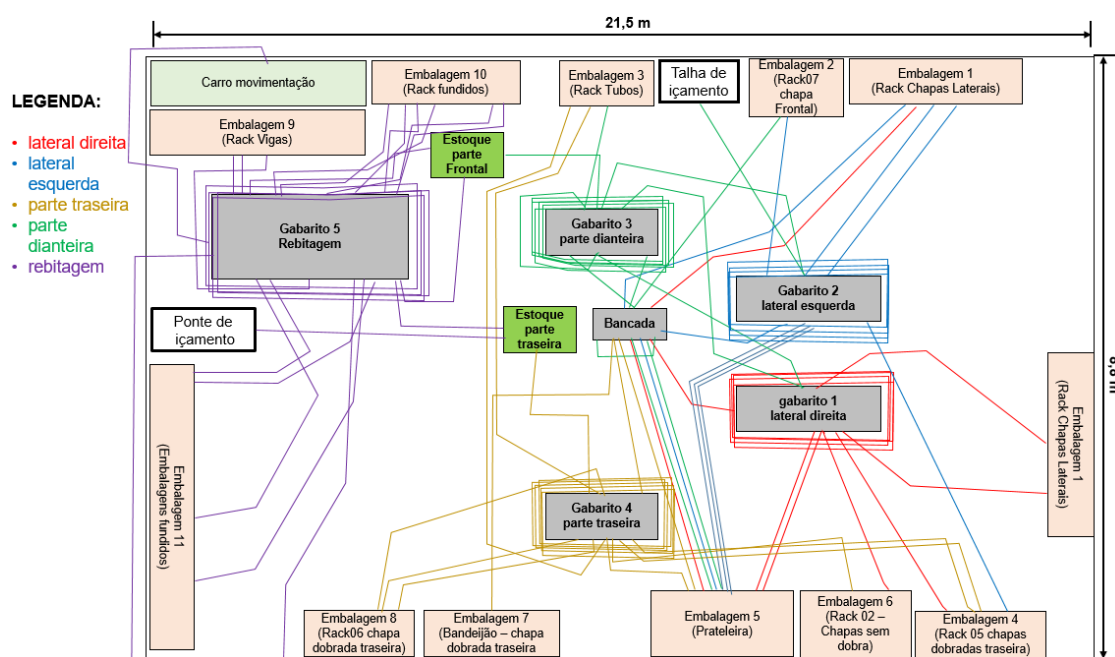


Figura 50 – Diagrama de espaguete com layout proposto (Autoria própria)

#### 4.4.5 Estimativa do tempo padrão para cenário proposto

A partir das mudanças propostas no *layout* e fluxogramas de processo, o tempo padrão para o cenário proposto foi estimado. Para tanto, considerou as distâncias com adequação do *layout*, as atividades acrescentadas e que não estavam sendo executadas pelo soldador e o tempo estimado para as novas movimentações. Este último foi estimado considerando a velocidade calculada para cada atividade desenvolvida. Na Tabela 8, pode-se observar o tempo padrão estimado. Como os dois soldadores farão operações distintas, estimou-se essa variável para o processo desenvolvido por cada um de forma separada.

Tabela 8 – Tempo padrão estimado para o cenário proposto

|                                | <b>Soldador 1</b> | <b>Soldador 4</b> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Tempo Selecionado (min)</b> | 125,69            | 180,04            |
| <b>Ritmo Percentual (%)</b>    | 90%               | 90%               |
| <b>Tempo Normal (min)</b>      | 113,12            | 162,04            |
| <b>Tolerância Atraso</b>       | 1,04              | 1,04              |
| <b>Tolerância Fadiga</b>       | 1,15              | 1,15              |
| <b>Tempo Padrão (min)</b>      | 135,29            | 193,80            |

Fonte: Autoria própria

Nota-se que o tempo padrão maior para a estação de trabalho, relativo às atividades realizadas pelo soldador 4, é de 193,80 min. O tempo padrão atual para essa estação de trabalho é de 300,93 min. Portanto, com as mudanças sugeridas, estima-se uma redução do tempo de ciclo para esta estação de trabalho de 35 %.

Nas tabelas 9 e 10, pode-se observar os resultados obtidos no estudo por meio da análise de cada ferramenta empregada. Nota-se que esse resultado pode influenciar diretamente na redução dos custos com mão de obra e área útil necessária para o trabalho. Assim, poderão contribuir com a melhoria da produtividade da mão de obra e capital investido na estação E13 em análise e nas demais 19 estações que constituem o processo de soldagem, que possuem potencial da aplicação das ferramentas e melhorias para estudos futuros.

Tabela 9 – Sumário dos resultados obtidos no estudo

| <b>Ferramenta Aplicada</b>    | <b>Observação</b>                                                                     | <b>Proposta</b>                                                                                                       | <b>Resultado esperado</b>                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Fluxograma do Processo        | Atividades em série executadas por apenas um colaborador                              | Divisão das atividades para dois níveis de qualificação de mão de obra                                                | Redução, em 35 %, do tempo padrão;             |
| Diagrama de Fluxo de Processo | Grandes distâncias percorridas para movimentação de peças                             | Readequação de <i>layout</i>                                                                                          | Redução na distância percorrida em 11 %        |
| Diagrama de Espaguete         | Movimentações excessivas, com elevado número de cruzamentos                           | Readequação de <i>layout</i>                                                                                          | Redução da área da estação de trabalho em 12 % |
| Gráfico homem máquina         | Atividades executadas por apenas um colaborador e interação com as fontes de soldagem | Divisão das atividades para dois níveis de qualificação de mão de obra, com desenvolvimento de atividades em paralelo | Redução do custo com mão de obra em 9%         |

Fonte: Autoria própria

Tabela 10 – Sumário das reduções previstas de custo para propostas aplicadas as 20 estações

| <b>Proposta</b>                             | <b>Estação</b>          | <b>Redução de Custo Anual<br/>(Previsão)</b> |            |
|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|------------|
| Mão de obra                                 | Estação de Trabalho E13 | R\$                                          | 3.184,89   |
| Redução da área<br>ocupada - m <sup>2</sup> | Estação de Trabalho E13 | R\$                                          | 142.912,00 |
| <b>TOTAL</b>                                | -----                   | R\$                                          | 146.096,89 |

Fonte: Autoria própria

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de tempo, movimentos e métodos pode proporcionar ganhos para uma organização, de forma a contribuir para a melhoria da sua produtividade e, consequentemente, competitividade. Isso porque, ao se tornar mais produtiva, ela terá seus custos reduzidos, que permitirá o aumento dos seus lucros e/ou redução do preço do seu produto, que pode contribuir para o aumento das vendas.

A partir do desenvolvimento deste estudo, por meio da aplicação de diferentes ferramentas da engenharia do trabalho e propostas, significativas melhorias foram feitas. Por meio de análise dos dados, observou-se que o colaborador qualificado desenvolve diversas atividades menos complexas, que poderiam ser desenvolvidas por um profissional de qualificação mais baixa. Assim, sugeriu-se a inclusão de um colaborador para dividir as atividades realizadas nesta estação de trabalho, de forma que o soldador de maior nível de qualificação desenvolvesse, em sua maioria, atividades mais complexas e o soldador de menor nível de qualificação realizasse as atividades mais simples. Com essa sugestão, um novo fluxo de processo foi elaborado, de maneira que o processo fosse executado com atividades em paralelo, no lugar da sua execução em série. Essas ações podem proporcionar redução no valor da mão de obra em 9 %, e no tempo de ciclo em 35 %, para esta estação de trabalho.

Também, foi observado que havia grande distância percorrida para movimentação de peças dentro da estação de trabalho. Assim, um novo *layout* foi sugerido de forma a tornar o fluxo mais claro e reduzir as distâncias de movimentação de peças. As ações conjuntas possibilitam uma redução na distância percorrida em 11 % e na área da estação de trabalho em 12 %.

Outra constatação feita é que as fontes de soldagem ficam ligadas, mas inativas, durante um longo período. Assim, elas consomem energia e contribuem para aumento dos custos de produção, sem estarem colaborando efetivamente no processo, se apresentando como um possível tópico de estudo para trabalhos futuros.

Portanto, observa-se que a aplicação do estudo de tempos, movimentos e métodos poderá contribuir de forma significativa para melhoria da produtividade da organização, por meio da redução do tempo de processo, de custos de produção e de consumo de energia. Assim, este estudo se mostra eficaz em contribuir para as organizações se tornarem mais competitivas.

Destaca-se que o presente trabalho foi desenvolvido em uma das 20 estações de trabalho do processo de soldagem da empresa. Assim, a metodologia desenvolvida neste trabalho poderá ser replicada para as demais estações, contribuindo para aumento dos benefícios proporcionados por este estudo.

Também, destaca-se que este estudo pode contribuir com a escassa literatura atual sobre o assunto, mostrando uma aplicação prática da análise do tempo, movimentos e métodos em uma empresa de manufatura.

Para trabalhos futuros, sugere-se que o *design* dos gabaritos seja revisado com o objetivo de reduzir as movimentações realizadas pelo colaborador durante o processo. Além disso, sugere-se que uma frequência maior de treinamentos aos soldadores para reciclagem seja feita, tendo em vista as constatações feitas no estudo, em que algumas atividades necessárias não estão sendo executadas.

## REFERÊNCIAS

AGRONEGÓCIO brasileiro começa 2023 com superávit de US\$ 8,69 bilhões: O milho foi o destaque nas exportações em janeiro deste ano, com alta de 166,5% no valor e 125,9% na quantidade. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**: Coordenação-Geral de Imprensa e Comunicação Social, 10 fev. 2023. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/13523-agronegocio-brasileiro-comeca-2023-com-superavit-de-us-8-69-bilhoes>. Acesso em: 13 set. 2023.

ALEKSANDER, Aleksander; TIAN, Bozhi. Quiet Brainstorming: Expecting the Unexpected. **Matter of Opinion**, [s. l.], v. 3, p. 594-597, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.08.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590238520304306>. Acesso em: 21 fev. 2023.

A.S.M.E. Standard Operation and Flow Process Charts: American Society of Mechanical Engineers. Special committee on standardization of therbligs, process charts, and their symbols. 29 West 39th Street, New York 18: **American society of mechanical engineers**, 1947. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/A\\_S\\_M\\_E\\_Standard\\_Operation\\_and\\_Flow\\_Proc/hBAhAAAAMAAJ?hl=en&gbpv=0&bsq=A.S.M.E.%20Standard%20Operation%20and%20Flow%20Process%20Charts](https://www.google.com.br/books/edition/A_S_M_E_Standard_Operation_and_Flow_Proc/hBAhAAAAMAAJ?hl=en&gbpv=0&bsq=A.S.M.E.%20Standard%20Operation%20and%20Flow%20Process%20Charts). Acesso em: 19 out. 2022.

BARNES, Ralf M. ESTUDO DE MOVIMENTOS E DE TEMPOS: PROJETO E MEDIDA DO TRABALHO. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1977. 631 p.

BONNARDEL, Nathalie; DIDIER, John. Brainstorming variants to favor creative design. **Applied Ergonomics**, [s. l.], ano 2020, v. 83, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102987>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687018305520?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CHOUDHURY, Bishub; CHANDRASEKARAN, M. Investigation on welding characteristics of aerospace materials – A review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], ano 2017, v. 4, ed. 8, p. 7519-7526, 18 out. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.083>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785317313779>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CORTÉS, Daniel; RAMÍREZ, José; PONCE, Pedro; MOLINA, Arturo. S3 manufacturing process taxonomy. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], ano 2021, v. 67, p. 579-610, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.04.069>. Disponível em: [S3 manufacturing process taxonomy - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S154697012100069). Acesso em: 08 jan. 2023.

PRODUCTIVITY in Brazilian manufacturing: Labor productivity drops 2.1% in Q3 2022. [S.l.], 1 jun. 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/productivity-in-brazilian-manufacturing/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

FU, Junyu; MA, Yongsheng. A method to predict early-ejected plastic part air-cooling behavior towards quality mold design and less molding cycle time. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], ano 2019, v. 56, p. 66-74, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.08.004>. Disponível em: [A method to predict early-ejected plastic part air-cooling behavior towards quality mold design and less molding cycle time - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.08.004). Acesso em: 1 mar. 2023

GROOVER, Mikell. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. 4. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2010. 1024 p.

GROOVER, Mikell. **Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work**. 1. ed. London: Pearson Education, 2013. 744 p. ISBN 978-1-292-02705-0.

HORVAT, Djerdj; KROLL, Henning; JÄGER, Angela. Researching the Effects of Automation and Digitalization on Manufacturing Companies' Productivity in the Early Stage of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, Karlsruhe, v. 39, p. 886-893, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.401>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920304728?via%3Dihub>. Acesso em: 1 mar. 2023.

HOULDCROFT, Peter; JOHN, Robert. Welding productivity. In: WELDING and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes. [S. l.]: **Woodhead Publishing**, 2014. cap. 12, p. 195-201. ISBN 9781855735781. DOI <https://doi.org/10.1533/9781845698942.195>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855735781500150>. Acesso em: 22 fev. 2023.

JACOBS, F.; CHASE, Richard. **Administração da produção e operações: O essencial**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 424 p. ISBN 978-85-7780-401-6.

JIANG, Yongyue; LIN, Ping. Improvement of numerical simulation for GMAW based on a new model with thermocapillary effect. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, [s. l.], v. 356, p. 37-45, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.01.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037704271930055X>. Acesso em: 31 jan. 2023.

JOSEPH, R.; KANYA, N.; BHASKAR, K.; XAVIER, J.; SENDILVELAN, S. Sendilvelan; PRABHAHAR, M.; KANIMOZHI, N.; GEETHA, S. Analysis on productivity improvement, using lean manufacturing concept. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 45, p. 7176-7182, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.412>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321015327>. Acesso em: 4 abr. 2023.

KANAWATY, George. **Introduction to work study**. 4. ed. rev. [S. l.: s. n.], 1992. 541 p. ISBN 9221071081.

KHAN, M. **Industrial Engineering**. 1. ed. [S. l.]: New Age International, 2004. 314 p. ISBN 81-224-1509-1.

KIM, JiWook; GOLABCHI, Alireza; HAN, SangUk; LEE, Dong-Eun. Manual operation simulation using motion-time analysis toward labor productivity estimation: A case study of concrete pouring operations. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 126, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103669>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521001205?via%3Dihub>. Acesso em: 1 nov. 2022.

KRUGMAN, Paul. **The Age of Diminished Expectations**. 3. ed. [S. l.]: The MIT Press, 1997. 244 p. ISBN 9780262611343.

LOPETEGUI, Marcelo; YEN, Po-Yin; LAI, Albert; JEFFRIES, Joseph; EMBI, Peter; PAYNE, Philip. Time motion studies in healthcare: What are we talking about?. **Journal of Biomedical Informatics**, [s. l.], v. 49, p. 292-299, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2014.02.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1532046414000562?via%3Dihub>. Acesso em: 5 jan. 2023.

MACEDO, Bruno; FERREIRA, Miguel. Welder learning curves behaviour: ?focus on welding productivity with the TIG process of marine platforms stainless steel pipes?. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 496-513, 2023. DOI <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2020-0468>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-06-2020-0468/full/html>. Acesso em: 13 set. 2023.

MARTINS, Petrônio; LAUGENI, Fernando. **Administração Da Produção**. [S. l.]: SARAIVA EDITORA, 2015. 584 p.

MILTENBURG, John; SPARLING, David. Managing and reducing total cycle time: models and analysis. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 46-47, p. David Sparling, 1996. DOI [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)00084-0](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)00084-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0925527394000840>. Acesso em: 28 fev. 2023.

MOULI, C.; KULKARNI, Sudheer; KULKARNI, D. Productivity improvement of a small scale industry by the application of an effective plant layout and weld-fixture design. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 52, p. 367-372, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321058569?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2023.

NASCIMENTO, Felipe; SANTOS, Aline; JÚNIOR, Lázaro; NUNES, Deivid. Application of Lean Six Sigma to Reduce Delays in Engineering Changes. **IEEE Transactions on Engineering Management**, [s. l.], p. 1 - 14, 25 ago. 2022. DOI 10.1109/TEM.2022.3199388. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9866873>. Acesso em: 13 set. 2023.

NURHAYATI, M.; ZAWIAH, M.; MAHIDZAL, D. The relationship between work productivity and acute responses at different levels of production standard times. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 56, p. 59-68, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.09.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814116301597>. Acesso em: 3 jan. 2023.

OMAR, Mohamed; ELERIAN, Fatma; SOLTAN, Hassan; IBRAHIM, Magdy. An Integrated Approach for Welding Process Selection. **Mansoura Engineering Journal**, Mansoura, Egypt, v. 43, 2020. DOI <https://doi.org/10.21608/bfemu.2020.94524>. Disponível em: <https://mej.researchcommons.org/cgi/viewcontent.cgi?article=2769&context=home>. Acesso em: 18 jan. 2023.

OKUMUS, D.; FARIYA, S.; TAMER, S.; GUNBEYAZ, S.; YILDIZ, G.; KURT, R.; BARLAS, B. The impact of fatigue on shipyard welding workers? occupational health and safety and performance. **Ocean Engineering**, [s. l.], v. 285, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115296>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801823016803?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2023.

PAL, Kamal; PAL, Surjya. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, [s. l.], v. 20, p. 918-931, 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9717-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-010-9717-y>. Acesso em: 4 abr. 2023.

PALANGE, Atul; DHATRAK, Pankaj. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, Volume 46, Part 1, 2021, Pages 729-736. Materials Today: Proceedings, [s. l.], v. 46, p. 729-736, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320398783>. Acesso em: 8 mar. 2023.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

REHMAN, Ateeq; RAMZAN, Muhammad; SHAFIQ, Muhammad; RASHEED, Abher; NAEEM, Muhammad; SAVINO, Matteo. Productivity Improvement Through Time Study Approach: A Case Study from an Apparel Manufacturing Industry of Pakistan. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 39, p. 1447-1454, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.306>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920303735>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SENDERSKÁ, Katarína; MAREŠ, Albert; VÁCLAV, Štefan. Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. **U.P.B. Sci. Bull., Series D**, [s. l.], v. 79, p. 139-150, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316634571\\_Spaghetti\\_diagram\\_application\\_for\\_workers%27\\_movement\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/316634571_Spaghetti_diagram_application_for_workers%27_movement_analysis). Acesso em: 10 jan. 2023.

SLACK, D.; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 1. ed. [S. l.]: Atlas, 1999. ISBN 978-8522421718.

SLACK, N.; JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. ISBN 978-85-97-01537-9.

SPAGHETTI charts and physical distancing. United Kingdom: **Lean Enterprise Academy**, 20 abr. 2020. Disponível em: <https://www.planet-lean.com/articles/spaghetti-chart-physical-distancing>. Acesso em: 5 abr. 2023.

SREEKUMAR, M.; CHHABRA, Meghna; YADAV, Ruchika. Productivity in Manufacturing Industries. **International Journal of Innovative Science and Research Technology**, [s. l.], v. 3, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333817038\\_Productivity\\_in\\_Manufacturing\\_Industries](https://www.researchgate.net/publication/333817038_Productivity_in_Manufacturing_Industries). Acesso em: 14 dez. 2022.

STANDARD Work for the Shopfloor: Productivity Press Development Team. [S. l.]: Taylor & Francis, 2002. 112 p. ISBN 1563272733. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=ye7gwAEACAAJ&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.br/books?id=ye7gwAEACAAJ&source=gbs_book_other_versions). Acesso em: 11 jan. 2023.

USUBAMATOV, Ryspek; RIZA, Abdul; MURAD, Muhamad. A method for assessing productivity in unbuffered assembly processes. *Journal of Manufacturing Technology Management*, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 123-139, 2013. DOI <https://doi.org/10.1108/17410381311287526>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17410381311287526/full/html>. Acesso em: 13 set. 2023.

WANG, Baicun; HU, S.; SUN, Lei; FREIHEIT, Theodor. WANG B.; JACK H. S.; SUN L.; FREIHEIT T.; Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. **Journal of Manufacturing Systems**. 2020. *Journal of Manufacturing Systems*, [s. l.], v. 56, p. *Journal of Manufacturing Systems*, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612520301102?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2023.

WEMAN, Klas. **Welding Processes Handbook**. 2. ed. [S. l.]: Woodhead Publishing Limited, 2012. ISBN 978-0-85709-510-7. DOI <https://doi.org/10.1533/9780857095183.1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780857095107/welding-processes-handbook#book-description>. Acesso em: 6 fev. 2023.

WOLFF, Edward. Productivity measurement within an input-output framework. Productivity measurement within an input-output framework, [s. l.], ano 1994, v. 24, p. 75-92, 1994. DOI [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0166-0462(94)90020-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0166046294900205>. Acesso em: 19 jan. 2023.

WU, Kaiyuan; ZHAN, Jiatong; CAO, Xuanwei; ZENG, Cao; DING, Nian. Metal transfer of aluminum alloy double-wire pulsed GMAW with a median waveform. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 286, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116761>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013620301758>. Acesso em: 8 dez. 2022.

ZONG, Ran; CHEN, Ji; WU, Chuansong. A comparison of double shielded GMAW-P with conventional GMAW-P in the arc, droplet and bead formation. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 285, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116781>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013620301953>. Acesso em: 21 dez. 2022.

À minha esposa pela inspiração,  
incentivo, exemplo diário de persistência  
e otimismo na busca pelo conhecimento.

# **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me abençoado com o dom da vida e, assim, poder aproveitar todas as oportunidades de estender e ampliar o conhecimento.

Agradeço ao meu orientador, professor André Alves de Resende, pela orientação decisiva, persistente e essencial para tornar realidade este trabalho. Aos demais professores e técnicos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço à minha esposa Aline Gonçalves dos Santos, por me inspirar, apoiar e incentivar diariamente.

Agradeço à minha família e amigos por todo suporte e compreensão.

Agradeço à Universidade Federal de Catalão por proporcionar e estruturar este programa de pós-graduação.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, em especial, aos meus gestores Sergio Bittencourt e Eudes Correia por me apoiarem ao longo de todo desenvolvimento do trabalho de mestrado.

BORGES, D. S. Aplicação do Estudo de Tempos, Movimentos e Métodos para Melhoria de Produtividade do Processo de Soldagem em uma Fábrica de Máquinas Agrícolas. 95p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO. 2023.

## RESUMO

O setor de agronegócio no Brasil apresenta grande relevância para a economia brasileira, com alta taxa de produção e exportação. Assim, tem-se que a indústria de máquinas agrícolas torna-se relevante para atender esse setor em constante crescimento. Na literatura, há poucos estudos que abordam essa indústria, em especial que investigam a produtividade dessas empresas. Portanto, com o objetivo de aumentar a produtividade do processo de soldagem de uma estação de trabalho de uma fábrica de máquinas agrícolas, este trabalho aplicou um estudo de tempo, movimentos e métodos. O objeto de estudo foi escolhido com base na análise do índice de produtividade, sendo selecionada a estação de trabalho com menor valor desse indicador. Foram avaliadas sete amostras de filmagens do processo disponibilizadas pela empresa. A partir dessas filmagens e de observações *in loco*, foram elaborados fluxogramas, diagrama de fluxo de processos, diagrama de espaguete e gráficos homem-máquina, além do cálculo do tempo padrão. Os dados obtidos indicaram que o soldador, que possuía alto nível de qualificação, executava todas as atividades da estação, incluindo as menos complexas, e percorria longas distâncias devido à disposição inadequada das embalagens, equipamentos e máquinas na estação de trabalho. Além disso, constatou-se que as três fontes de soldagem ficavam inativas durante um longo período, mas consumindo energia. Com base nessas informações, foi proposto um novo *layout* e fluxo de processo, que incluiu a contratação de um colaborador de nível de qualificação menor para executar as atividades menos complexas. O tempo padrão para este cenário foi estimado e concluiu-se que as propostas feitas no estudo poderiam levar a melhorias significativas, como a redução de 35% do tempo padrão, em 9% no custo com mão de obra, em 11% na distância percorrida, em 12% na área da estação de trabalho e 39% no consumo e custo com fontes de soldagem em período inativo. Portanto, o estudo de tempo, movimentos e métodos mostrou-se uma ferramenta valiosa para a melhoria da produtividade.

Palavras-chave: produtividade, tempo, movimentos, métodos, soldagem

BORGES, D. S. Application of Time, Motions and Methods Study to Improve the Welding Process Productivity in an Agricultural Machinery Factory. 95p. Masters Dissertation. Federal University of Goiás, Catalão, GO. 2023.

## **ABSTRACT**

The agribusiness sector in Brazil is highly relevant to the Brazilian economy, with a high rate of production and exports. Therefore, the agricultural machinery industry becomes relevant to serve this constantly growing sector. In the literature, there are few studies that address this industry, especially those that investigate the productivity of these companies. In order to increase the productivity of the welding process of an agricultural equipments factory and related work station, this work applied a study of time, movements and methods. The object of study was chosen based on the analysis of the productivity index, and the work station with the lowest value of this indicator was selected. Seven film samples of the process were evaluated and made available by the company for analysis. From these filming and on-site observations, the flowcharts, process flow diagram, spaghetti diagram, and man-machine graphs were elaborated, as well as standard time calculation. The data obtained indicated that the welder, who had a high level of qualification, performed all activities of the station, including the least complex ones, and traveled long distances due to the improper disposition of packaging, equipment and machines in the work station. In addition, all three welding sources were found to be inactive for a long period of time, but consuming energy. Based on this information, a new layout and process flow was proposed, which included hiring a lower-skill level employee to perform the less complex activities. The standard time for this scenario was estimated and it was concluded that the proposals made in the study could lead to significant improvements, such as a 35% reduction in standard time, 9% reduction in labor cost, 11% in distance traveled, 12% in the area of the work station, and 39% reduction in consumption and cost with inactive weld sources. Therefore, the study of time, movements and methods proved to be a valuable tool for improving productivity.

Keywords: productivity, time, motion, methods, welding

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação brasileira (CNI, 2022).....                                                                                 | 19 |
| Figura 2 – Circuito de soldagem GMAW (Adaptado de PAL; PAL, 2011).....                                                                                                                    | 23 |
| Figura 3 – Os subciclos que compõem o tempo total do ciclo. Adaptado de (MILTENBURG; SPARLING, 1996) .....                                                                                | 25 |
| Figura 4 – Relação entre o estudo de tempo e método e a produtividade, adaptado de (KANAWATY, 1992) .....                                                                                 | 27 |
| Figura 5 – Objetivos do estudo de tempos e movimentos (Autoria própria) .....                                                                                                             | 27 |
| Figura 6 – Etapas para escolha do melhor método .....                                                                                                                                     | 27 |
| Figura 7 – Símbolos para criação de gráfico de fluxo de processo (ASME, 1957) ...                                                                                                         | 29 |
| Figura 8 – Formulário padronizado para diagrama de fluxo de processo (PEINADO e GRAEML, 2007) .....                                                                                       | 29 |
| Figura 9 – Tipos de fluxogramas, em que MP é a matéria prima e PA é o produto acabado (PEINADO e GRAEML, 2007).....                                                                       | 30 |
| Figura 10 – Diagrama de Espaguete em uma fábrica de detonadores, mostrando fluxo dos operados entre máquinas, estoque e atividades administrativas (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017) ..... | 31 |
| Figura 11 – Gráfico homem-máquina (KHAN, 2004).....                                                                                                                                       | 32 |
| Figura 12 – Etapas de desenvolvimento do estudo (Elaboração própria).....                                                                                                                 | 40 |
| Figura 13 – Valores de produtividade das 20 estações de trabalho do processo de soldagem no período de janeiro a junho de 2022 (Elaboração própria) .....                                 | 44 |
| Figura 14 – Representação ilustrativa do <i>layout</i> em vista superior da estação em estudo (Elaboração própria).....                                                                   | 45 |
| Figura 15 – Desenho representativo do chassi de uma máquina agrícola, em vista superior, relacionando o respectivo gabarito para soldagem (Elaboração própria) ...                        | 46 |
| Figura 16 – Fluxograma geral das atividades da estação de trabalho (Autoria própria) .....                                                                                                | 47 |
| Figura 17 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 1 (Autoria própria).....                                                                                                      | 48 |
| Figura 18 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 2 (Autoria própria).....                                                                                                      | 49 |
| Figura 19 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 3 (Autoria própria).....                                                                                                      | 50 |
| Figura 20 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 4 (Autoria própria).....                                                                                                      | 51 |
| Figura 21 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 5 (Autoria própria).....                                                                                                      | 52 |
| Figura 22 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 1, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 53 |
| Figura 23 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 2, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 54 |
| Figura 24 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 3, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 55 |
| Figura 25 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 4, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                              | 57 |
| Figura 26 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 5, conjunto rebitado em destaque na cor verde (Autoria própria).....                                                             | 59 |

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 27 – Diagrama de espagete para o processo atual (Autoria própria) .....                                                                                                       | 60 |
| Figura 28 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 1 (Autoria própria).....                                                                                                           | 62 |
| Figura 29 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 2 (Autoria própria).....                                                                                                           | 63 |
| Figura 30 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 3 (Autoria própria).....                                                                                                           | 65 |
| Figura 31 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 4 .....                                                                                                                            | 66 |
| Figura 32 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 5 (Autoria própria).....                                                                                                           | 67 |
| Figura 33 – Tempo total de inatividade das fontes de soldagem durante um ciclo de trabalho (Autoria própria) .....                                                                   | 68 |
| Figura 34 – Projeto do <i>Layout</i> proposto .....                                                                                                                                  | 72 |
| Figura 35 – Fluxograma proposto, considerando dois soldadores, um de nível 1 e um de nível 4 (Autoria própria) .....                                                                 | 74 |
| Figura 36 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 5, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                     | 75 |
| Figura 37 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                     | 75 |
| Figura 38 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                     | 76 |
| Figura 39 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                     | 76 |
| Figura 40 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                     | 77 |
| Figura 41 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                     | 78 |
| Figura 42 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                     | 79 |
| Figura 43 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 4 (Autoria própria) .....                                                                                     | 79 |
| Figura 44 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 1 (Autoria própria) .....                                                                                     | 80 |
| Figura 45 – Gráfico do tempo de processo em cada gabarito para cada soldador no cenário proposto (Autoria própria).....                                                              | 81 |
| Figura 46 – Gráfico da distância a ser percorrida pelos soldadores no cenário proposto (Autoria própria) .....                                                                       | 81 |
| Figura 47 – Gráfico de Gantt para as atividades executadas nos 5 gabaritos, pelos dois soldadores (Autoria própria) .....                                                            | 83 |
| Figura 48 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário proposto (Autoria própria) .....                                                                       | 84 |
| Figura 49 – Gráfico do consumo em kWh pelas fontes de soldagem e seu respectivo custo, em período inativo, no cenário proposto (Autoria própria) <b>Error! Bookmark not defined.</b> |    |
| Figura 50 – Diagrama de espagete com layout proposto (Autoria própria).....                                                                                                          | 85 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Ferramentas que podem ser empregadas na análise do problema .....                              | 32 |
| Tabela 2 – Coeficiente de distribuição normal .....                                                       | 36 |
| Tabela 3 - Coeficiente $d_2$ para o número de cronometragens iniciais.....                                | 37 |
| Tabela 4 – Número de amostras (N) necessárias considerando o grau de confiança de 95 % e erro de 5% ..... | 47 |
| Tabela 5 – Tempo normal para a estação de trabalho analisada .....                                        | 69 |
| Tabela 6 – Tempo padrão para o processo desenvolvido na estação analisada.....                            | 70 |
| Tabela 7 – Custos com mão de obra para o cenário atual e proposto .....                                   | 82 |
| Tabela 8 – Tempo padrão estimado para o cenário proposto .....                                            | 86 |
| Tabela 9 – Sumário dos resultados obtidos no estudo.....                                                  | 86 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME – *American Society of Mechanical Engineers*;

GMAW - *Gas Metal Arc Welding*;

kWh - Quilowatt-hora;

MIG/MAG - *Metal Inert Gas/Metal Active Gas*;

TFP – *Total Factor Productivity*.

## SUMÁRIO

|                                                             |                                     |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                         | 16                                  |
| 1.1    Objetivos .....                                      | 18                                  |
| 1.2    Justificativa .....                                  | 18                                  |
| 1.3    Contribuições.....                                   | 20                                  |
| 1.4    Estrutura do trabalho .....                          | 20                                  |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                              | 22                                  |
| 2.1. Soldagem MIG/MAG ou GMAW .....                         | 22                                  |
| 2.2. Produtividade .....                                    | 23                                  |
| 2.3. Tempo de ciclo .....                                   | 24                                  |
| 2.4. Estudo de tempos, movimentos e métodos .....           | 26                                  |
| 2.4.1 Desenvolvimento do melhor método .....                | 27                                  |
| 2.4.2    Padronização da operação .....                     | 35                                  |
| 2.4.3 Determinação do tempo padrão .....                    | 36                                  |
| 3. METODOLOGIA .....                                        | 39                                  |
| 3.1 Definição do problema.....                              | 40                                  |
| 3.2 Análise do problema.....                                | 40                                  |
| 3.3 Pesquisa de possíveis soluções .....                    | 42                                  |
| 3.4 Avaliação das Alternativas .....                        | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 3.5 Padronização do processo .....                          | 42                                  |
| 3.7 Determinação do Tempo padrão .....                      | 42                                  |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                             | 43                                  |
| 4.1 Definição do Problema .....                             | 43                                  |
| 4.2 Análise do problema.....                                | 44                                  |
| 4.2.1. Fluxogramas de processo .....                        | 47                                  |
| 4.2.2. Gráfico de Fluxo de Processo .....                   | 52                                  |
| 4.2.3. Diagrama de Espaguete .....                          | 60                                  |
| 4.2.4. Gráfico homem-máquina .....                          | 61                                  |
| 4.3. Análise de atividades necessárias não realizadas ..... | 69                                  |
| 4.4. Estudo de Tempos .....                                 | 69                                  |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 4.5. Possíveis soluções.....                   | 70 |
| 4.4.1 Proposta de novo <i>Layout</i> .....     | 70 |
| 4.4.2 Proposta de Novo Fluxo de Processo ..... | 73 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                   | 88 |
| 6. REFERÊNCIAS .....                           | 90 |

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Produtividade pode ser definida como uma medida ou índice de eficácia de um processo, operação ou atividade com base em seus recursos disponíveis em um certo período. Assim, refere-se a uma medida de eficiência do sistema integrado composto por recursos financeiros, mão-de-obra, materiais, máquinas e tempo (SREEKUMAR; CHHABRA; YADAV, 2018). Portanto, o tempo é uma variável que exerce grande influência na avaliação de produtividade, sendo que, quanto menor seu valor empregado na geração do produto, maior será o seu índice da produtividade.

Neste sentido, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de melhorar a produtividade dos processos de fabricação, por meio de avaliações das etapas de entrada, transformação e saída, buscando práticas modernas para se produzir cada vez mais, reduzindo os custos na mesma proporção (CORTÉS et al., 2021).

Usubamatov, Rahman Riza e Nasir Murad (2013) realizaram uma análise de sistema dos processos da linha de montagem de automóveis e desenvolveram um modelo matemático da taxa de produtividade da linha de montagem. O modelo analítico é derivado da taxa de produtividade da linha de montagem em função da tecnologia de montagem, número de estações, confiabilidade da máquina e dos mecanismos, bem como de fatores gerenciais e organizacionais. O modelo matemático foi aplicado ao processo de montagem da cabine do automóvel. Este mostrou que as principais perdas de produtividade na montagem de automóveis foram devidas a operações auxiliares e equipamentos defeituosos como compressor de ar, transportador, ferramentas pneumáticas, que juntamente com problemas na atividade gerencial resultaram em perdas de produtividade de 30%. Estas perdas de produtividade devem ser reduzidas através da melhoria contínua do processo de

fabricação para aumentar a produção da linha de montagem de cabines de automóveis.

A produtividade é um dos principais índices aplicados na avaliação de desempenho dos processos de fabricação em empresas de manufatura. Os processos de fabricação, de acordo com Groover (2010), estão divididos em operações de processamento e de montagem. Dentre as operações de montagem, destaca-se o processo de soldagem, que consiste em um processo de união permanente.

A soldagem é um importante processo de fabricação usado para produzir uma montagem ou estrutura a partir da união de metais por meio do aquecimento do material a uma temperatura adequada (OMAR et al., 2018; CHOUDHURY; CHANDRASEKARAN, 2017). Conforme exposto por Wang et al. (2020), os processos de soldagem são complexos, com muitos parâmetros e uma compreensão limitada do seu mecanismo. Estes impactos exercem grande influência no índice de produtividade do processo.

Além dos parâmetros de soldagem influenciarem diretamente na produtividade do processo, a forma com a qual as atividades são executadas também pode influenciar nessa variável, especialmente, quando há participação de pessoas na sua execução. Portanto, os métodos, movimentos e tempo influenciam nos resultados de produtividade deste processo.

Nesse sentido, Macedo e Ferreira (2021) desenvolveram um estudo com o objetivo de analisar a viabilidade da utilização dos modelos de curva potencial e exponencial para avaliar o aprendizado de um grupo de soldadores, na soldagem de tubulações de aço inoxidável com o processo de gás inerte de tungstênio, por meio da análise dos dados de produtividade. Os autores constataram que os modelos potencial e exponencial apresentaram condições de ajuste semelhantes, tendo o segundo desempenho ligeiramente superior.

Mouli, Kulkarni e Deepak (2022) realizaram um estudo para melhorar a produtividade de um processo de soldagem por meio do estudo do *layout* de fábrica, em uma empresa de pequena escala. Os autores constataram que o layout existente tinha espaços não utilizados e arranjos de máquinas inadequados. Também, constataram que havia a necessidade de um dispositivo que reduzisse os defeitos causados por erros de alinhamento durante a soldagem. Assim, sugeriram a utilização de uma mesa de fixação, unidade de suporte e grampo de fixação. O uso do dispositivo reduziu o retrabalho de 10% para 5%. Além disso, o *layout* da planta proposto, calculado usando a ferramenta de simulação CRAFT, reduziu a distância percorrida pelo material. Isso resultou na redução dos custos de movimentação de materiais em 15%.

Tendo em vista que o desempenho dos soldadores é fundamental para a qualidade e velocidade da soldagem e que este processo exige posturas corporais inadequadas e repetitivas por longos períodos, Okumus et al. (2023) investigaram o impacto a longo prazo da carga de trabalho de soldagem no corpo para diferentes faixas etárias e níveis de experiência. Além disso, o impacto da fadiga a curto prazo na produtividade foi investigado. Por meio de simulação de eventos discretos, constatou-se que a perda de eficiência devido à fadiga diária de curto prazo é de cerca de 22,9% em comparação com a condição de repouso.

Neste contexto, destaca-se a importância de se desenvolver trabalhos para melhoria de produtividade dos processos de soldagem por meio de análise de tempos e movimentos. O estudo de tempos, movimentos e métodos, conforme exposto por Lopetegui et al. (2014), pode ser empregado de forma a tornar o processo mais eficiente, reduzindo os movimentos envolvidos e, conseqüentemente, reduzindo o seu tempo de processo.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é identificar oportunidades de melhorias para aumento da produtividade do processo de soldagem de uma estação de trabalho de uma fábrica de máquinas agrícolas.

Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificação de estação de trabalho com baixa produtividade;
- Determinação do melhor fluxo para realização do processo avaliado;
- Redução das movimentações durante a execução do processo investigado;
- Redução do tempo de processo;
- Padronização do processo analisado;
- Determinação do tempo padrão do processo proposto.

## **1.2 Justificativa**

A produtividade é uma medida que está diretamente relacionada à competitividade das organizações. A indústria brasileira tem apresentado um baixo desempenho para este indicador. Segundo a Confederação Nacional da Indústria Brasileira (CNI) (2022), a produtividade do trabalho na indústria de transformação brasileira (medida pelo volume produzido dividido pelas horas trabalhadas na produção) caiu 2,1% no terceiro trimestre em relação ao segundo trimestre de 2022,

conforme pode ser observado na Fig. 1. Nesta mesma base de comparação, as horas trabalhadas aumentaram 2,0%, enquanto o volume produzido praticamente não variou (-0,2%).

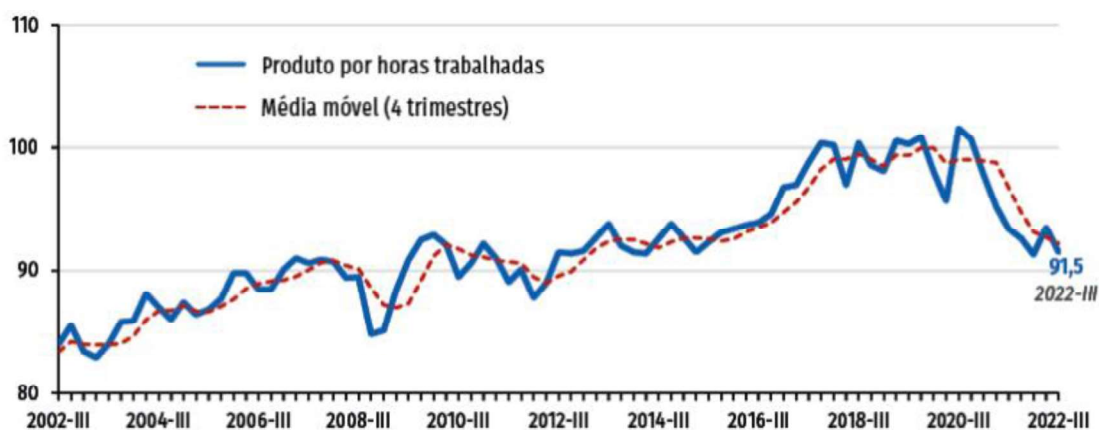


Figura 1 – Produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação brasileira (CNI, 2022)

Assim, observa-se que a produtividade da mão de obra nas empresas brasileiras tem apresentado um declínio, contribuindo para redução da sua competitividade. Portanto, para que as organizações melhorem este indicador, é necessário que estudos sejam realizados, sendo o estudo de tempo, movimentos e métodos de grande relevância para atingir esse objetivo.

Apesar dos valores da produtividade trimestral do trabalho da indústria de transformação, destaca-se que o Brasil apresenta bom desempenho no setor de agronegócio. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) (2023), a balança comercial do agronegócio, no início do ano de 2023, teve superávit de US\$ 8,69 bilhões, valor acima do superávit de US\$ 2,61 bilhões da balança comercial total. O Brasil é destaque em exportação de milho (terceiro maior exportador mundial) e açúcar. Para suportar esse crescimento, este setor precisa de maquinários agrícolas capazes de atender a alta produção.

Diante disso, ressalta-se a importância da indústria de maquinários agrícolas. Essa, por sua vez, apresenta e necessita de grandes oportunidades de melhorias no que se refere à produtividade dos seus processos. Entretanto, ainda há poucos estudos desenvolvidos com esse objetivo. Nascimento et al. (2022) realizaram um trabalho em uma empresa de máquinas agrícolas para melhoria da produtividade do processo de decisões de engenharia, de forma a reduzir os atrasos nas entregas deste. Com o estudo realizado, os atrasos foram reduzidos em 95%.

Portanto, nota-se que a indústria de máquinas agrícolas apresenta grande relevância para a economia da brasileira e que esta necessita da realização de estudos para melhoria da sua produtividade.

### **1.3 Contribuições**

O presente estudo apresenta contribuições, tanto para meio empresarial, quanto para o ambiente acadêmico, produzindo novos conhecimentos, aliando a ciência à prática. Para o meio empresarial, soluções aplicáveis para melhoria da produtividade da estação de trabalho foram identificadas e desenvolveu-se uma metodologia que pode ser replicada por demais organizações. Quanto ao meio acadêmico, produziu-se conhecimento sobre aplicação prática em um ambiente fabril de estudos de tempos, movimentos e métodos, podendo ser replicado por demais pesquisadores.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Com a finalidade de proporcionar melhor compreensão da estrutura deste trabalho, a proposição de cada capítulo é apresentada, de forma resumida:

- O Capítulo 1 objetiva apresentar a contextualização do tema do trabalho, expor seu objetivo, justificativa e contribuições.
- No Capítulo 2, são apresentados os conceitos que fundamentam o trabalho, a saber: Soldagem MIG/MAG ou GMAW; Produtividade; Tempo de ciclo; Estudo de tempo, movimentos e métodos.
- No Capítulo 3, a metodologia utilizada para desenvolvimento do estudo é apresentada. Para tanto, são descritas as etapas do trabalho que podem ser sumarizadas em: definição do problema (análise da produtividade das estações de trabalho na empresa); análise do problema (aplicação das ferramentas: fluxograma, gráfico do fluxo de processos, diagrama de espaguete, gráfico homem-máquina e cálculo do tempo padrão); pesquisa de possíveis soluções, realizadas por meio de análise dos dados e sessões de *brainstorming* e entrevista com os envolvidos; avaliação das alternativas feita por meio de entrevistas com os responsáveis por desenvolver os processos de produção da empresa e com os colaboradores que os executam; padronização do processo por meio da definição do novo fluxo de processos; determinação do tempo padrão, calculado para o processo atual e estimado para o cenário proposto.

- O Capítulo 4 apresenta os resultados do trabalho, obtidos por meio do desenvolvimento das etapas descritas no capítulo 3.
- No capítulo 5, são expostas as conclusões do trabalho, suas contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo, as principais temáticas abordadas no trabalho são expostas e fundamentadas com base na revisão da literatura. Primeiramente, o processo de soldagem GMAW é abordado, com suas principais características expostas. Após, a produtividade e tempo de ciclos são apresentados, seguidos pela fundamentação teórica sobre estudo de tempo, movimentos e métodos.

#### 2.1. Soldagem MIG/MAG ou GMAW

O processo de soldagem GMAW se apresenta como o processo de maior aplicação no setor industrial. Tanto GMAW, do inglês *Gas metal Arc Welding*, quanto MIG/MAG (*Metal inerte Gas/Metal Active Gas*) se referem à soldagem a arco de metais, em geral, com uso de gás, seja ativo ou inerte, conforme destacado por Weman (2012).

De acordo com Zong, Chen e Wu (2020), o processo GMAW tem sido utilizado para unir uma ampla gama de materiais metálicos em muitos campos industriais, devido, principalmente, a sua alta eficiência e baixo custo. Wu et al. (2020) acrescentam que a soldagem GMAW é um método rápido e adaptável para unir componentes grandes e leves e desempenha um papel inestimável na produção industrial para o setor ferroviário de alta velocidade, automóvel, aviação, construção naval, construção e muitas outras indústrias.

O processo GMAW é um tipo de soldagem em que o arco é composto por um fluxo de elétrons e plasma, eletricamente neutro, sob o gás de proteção para derreter o fio em movimento e a peça de trabalho. Neste processo, o arame e a peça servem como os dois terminais do arco, cátodo e ânodo. Conforme pode ser observado na Fig. 2, a ponta do arame de solda derrete para formar uma gotícula, devido à tensão

superficial em alta temperatura proveniente do arco, ao aquecimento ôhmico e ao aquecimento do eletrodo. Quando a soma das forças resultantes (gravidade, força eletromagnética, pressão do arco e plasma do arco) supera a resistência da tensão superficial, a gota formada cai na poça de solda (JIANG; LIN, 2019). Todo esse processo é chamado de transferência metálica.

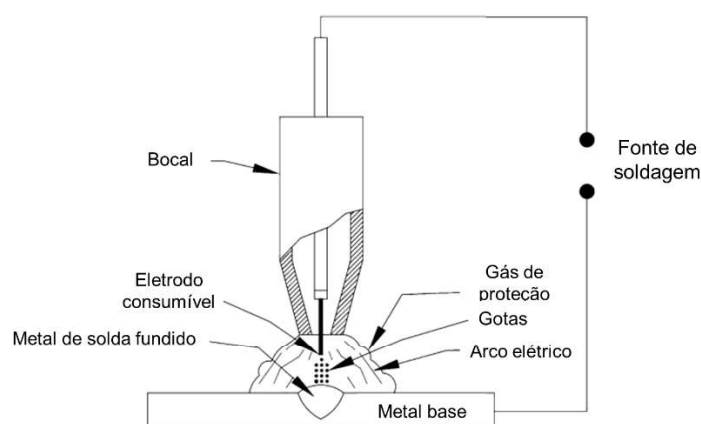


Figura 2 – Circuito de soldagem GMAW (Adaptado de PAL; PAL, 2011)

## 2.2. Produtividade

A produtividade, de forma simples, pode ser definida como a relação entre o *output* (uma medida quantitativa do que foi produzido) e o *input* (uma medida quantitativa dos insumos), conforme pode ser observado na Eq. 1 (MARTINS; LAUGENI, 2005). Essa estrutura de *input-output*, conforme exposto por Wolff (1994), fornece um sistema poderoso para a medição do crescimento da produtividade e a análise das suas tendências.

$$\text{Produtividade} = \text{medida do } output / \text{medida do } input \quad (1)$$

Segundo Houldcroft e John (1988), ao considerar a produtividade para a indústria de fabricação, é mais relevante considerar o tempo para produzir uma unidade completa ou, inversamente, as unidades produzidas no tempo padrão. Critérios importantes são o fluxo de material, a eficiência da estação de trabalho, a velocidade de fabricação e o nível de retrabalho.

A produtividade é uma medida de extrema importância, a longo prazo. Conforme exposto por Krugman (1997), produtividade não é tudo, mas a longo prazo

é quase tudo. A capacidade de um país de melhorar seu padrão de vida ao longo do tempo depende quase inteiramente de sua capacidade de aumentar sua produção por trabalhador.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), a produtividade pode ser analisada de duas formas: produtividade parcial e produtividade total. A primeira refere-se à relação entre o produzido, medido de alguma forma, e o consumido de um dos insumos (recursos) utilizados, como por exemplo, a produtividade da mão-de-obra. Já a segunda, considera a relação entre o *output* total e a soma de todos os fatores de *input*. Assim, reflete o impacto conjunto de todos os fatores de *input* na produção do *output*.

Já Horvat, Kroll e Jäger (2019) consideram a produtividade do trabalho em termos de preço como "valor acrescentado (volume de negócios menos insumos de peças compradas, materiais, operações e serviços) por empregado". Isso fornece um reflexo direto da eficiência de produção (técnica). Para os autores, a produtividade total dos fatores (TFP - *Total Factor Productivity*) é dada como o valor adicionado (vendas menos insumos intermediários) dividido pela soma dos custos de mão-de-obra e depreciação de máquinas e equipamentos.

Para melhor entendimento, Sreekumar, Chhabra e Yadav (2018) definem o termo produção, referindo-se ao processo para gerar produtos acabados ou semiacabados, já a produtividade como sendo a medida de eficácia destes processos, considerando a produtividade e sua amplitude que compreende as variáveis ou fatores que influenciam os processos de produção tais como mão-de-obra, máquinas, materiais e investimentos. Destacam ainda que a produtividade dos sistemas de produção e seus colaboradores é um problema enfrentado por várias organizações ou empresas e está diretamente ligado ao seu desenvolvimento e rentabilidade.

Vários fatores podem afetar a produtividade dos processos produtivos, tais como características do produto a ser produzido, planos e definições de processo, disponibilidade de equipamentos e máquinas, planejamento da produção, uso e atualização de tecnologia, tempos padrões, ambiente de trabalho, problemas de montagem e inspeção (SREEKUMAR; CHHABRA; YADAV, 2018).

### **2.3. Tempo de ciclo**

Uma variável importante para avaliar a produtividade é o tempo de ciclo (C). De acordo com Jacobs e Chase (2009), o tempo de ciclo refere-se ao tempo que transcorre entre as unidades sucessivas saindo ao final da linha e pode ser calculado, conforme Eq. 2. Assim, conforme exposto por Fu e Ma (2019), um tempo de ciclo

menor significa menores custos de produção, o que proporciona melhor competitividade para a empresa no mercado e melhoria na sua produtividade.

$$C = \text{Tempo de produção por dia} / \text{Produção necessária por dia (em unidades)} \quad (2)$$

Para Miltenburg e Sparling (1996), o tempo de ciclo total é composto por cinco subciclos, conforme é exposto na Fig. 3. Assim, para o gerenciamento/redução do tempo de ciclo, é importante reduzir o tempo de cada subciclo. Isso auxilia a alcançar dois objetivos: melhoria na qualidade e custo; redução dos tempos necessários para realizar as atividades de processamento de pedidos, projeto, produção e assim por diante. O primeiro se deve ao fato da redução do tempo total do ciclo resultar em menos tempo disponível para as atividades que estão sendo realizadas no momento, fazendo com que as atividades desnecessárias sejam identificadas e eliminadas, e as necessárias sejam melhoradas (para que possam ser feitas mais rapidamente).

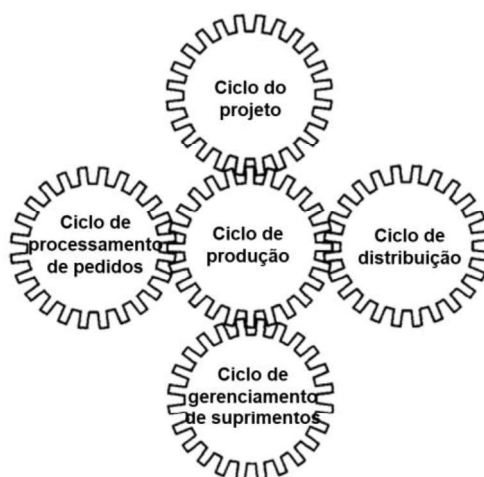


Figura 3 – Os subciclos que compõem o tempo total do ciclo. Adaptado de (MILTENBURG; SPARLING, 1996)

Joseph et al. (2021) utilizaram o tempo de ciclo como ferramenta para avaliar os parâmetros que afetam a produtividade em uma fábrica que fornece correias dentadas para equipamentos de manufatura. Após avaliar o tempo de ciclo atual, um novo processo foi implementado. Novas análises foram realizadas e os autores constataram melhoria na produtividade e redução no tempo de ciclo de, aproximadamente, 19,1%.

## 2.4. Estudo de tempos, movimentos e métodos

Para melhorar a produtividade do sistema de fabricação, as empresas têm implementado conceitos da manufatura enxuta. Por meio dessa metodologia, é possível identificar as atividades que não agregam valor na produção e tentar reduzi-las ou eliminá-las para aumentar a produtividade ou o lucro com a racionalização do processo. Diversas ferramentas da manufatura enxuta podem auxiliar a alcançar esse objetivo, como o estudo de tempos e movimentos (PALANGE; DHATRAK, 2021).

Lopetegui et al. (2014) explicam que o estudo de tempos e movimentos, originalmente, refere-se a um método para melhorar a eficiência e estabelecer padrões de produtividade dos funcionários em que uma tarefa é dividida em etapas, a sequência de movimentos executados pelo colaborador para realizar essas etapas são observadas para detectar movimentos redundantes e o tempo preciso de cada movimento é medido.

Para Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos consiste na análise sistemática dos sistemas de trabalho com os objetivos de: desenvolver o sistema e o melhor método, geralmente o de menor custo; padronizar o sistema e o método; determinar o tempo de execução de uma tarefa ou operação específica, realizada por uma pessoa treinada e considerando o seu ritmo normal; orientar o treinamento do trabalhador de acordo com o método escolhido. Dentre os objetivos citados, o autor destaca que os principais consistem na escolha do melhor método de se executar uma tarefa e na determinação do tempo padrão. Kim et al. (2021) acrescentam que o estudo de tempo e movimento fornece uma maneira de estimar os tempos padrões e a carga de trabalho da unidade, necessários para estimar as taxas de produção de operações manuais em várias unidades.

Para Kanawaty (1992), o estudo de tempos e dos métodos consiste no estudo do trabalho. O estudo do método tem o objetivo de reduzir o conteúdo de trabalho de uma operação. O estudo do tempo concentra-se na investigação de tempos de ineficiência associado à operação. Assim, pode-se estabelecer o tempo padrão a partir da melhoria do método. Além disso, o estudo do tempo pode permitir uma comparação entre métodos distintos para escolha do melhor método. Na Fig. 4, pode-se observar a relação dessas duas análises e constatar que o estudo do método e do tempo pode proporcionar melhoria da produtividade.

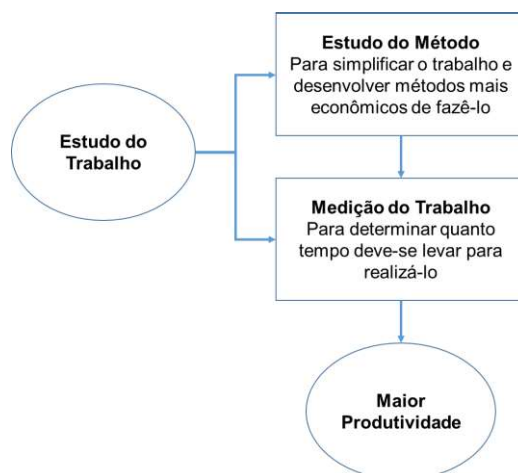


Figura 4 – Relação entre o estudo de tempo e método e a produtividade, adaptado de (KANAWATY, 1992)

Os objetivos do estudo de tempos e movimentos, expostos por Barnes (1977), podem ser aplicados de forma sequencial, conforme mostrado na Fig. 5. Assim, esses objetivos podem nortear o desenvolvimento do estudo de tempos e movimentos.

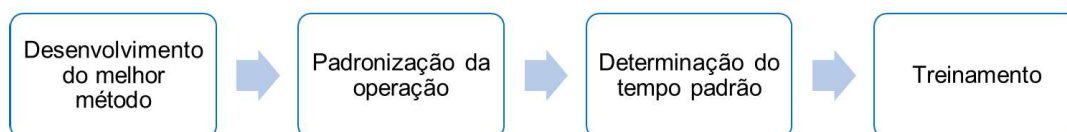


Figura 5 – Objetivos do estudo de tempos e movimentos (Barnes, 1977)

#### 2.4.1 Desenvolvimento do melhor método

Para escolha do melhor método, Barnes (1977) estabelece cinco etapas, a saber: Definição do problema; análise do problema; pesquisa de soluções possíveis; avaliação das alternativas; recomendação para ação, conforme pode ser observado na Fig. 6. A seguir, as etapas e formas de desenvolvê-las serão descritas detalhadamente.

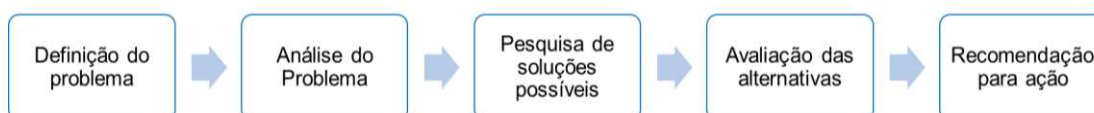


Figura 6 – Etapas para escolha do melhor método

Para determinar o problema, Barnes (1977) ressalta que diversos fatores dentro do fluxo produtivo devem ser verificados, como custo, aumento de produção, obstáculos de armazenagem, etc. O autor acrescenta que o problema deve ser formulado de maneira genérica de forma a permitir a criatividade na determinação da solução. Nessa etapa, devem ser determinados metas e objetivos.

Na análise do problema, deve-se descrever o método atual e determinar as especificações e restrições. Nesta etapa, deve-se incluir (BARNES, 1977):

- 1) Especificações ou restrições incluindo alguns limites nos gastos de capital;
- 2) Descrição do método atual se estiver ainda em funcionamento. Deve incluir diagrama de fluxo de processos, fluxograma, diagrama de frequência dos deslocamentos, gráfico homem-máquina.
- 3) Determinação das atividades que, provavelmente, o homem desempenhará melhor, daquelas que as máquinas desempenharão melhor e da inter-relação homem-máquina.
- 4) Reexame dos problemas e determinação dos subproblemas.
- 5) Reexame dos critérios.

Nota-se que, para descrição do método atual, Barnes (1977) recomenda o emprego de diversas ferramentas, que serão descritas a seguir.

Aplica-se o diagrama de fluxo de processos para registrar diversas etapas e eventos de uma tarefa, desde a entrada até a última etapa do processo. Nas fábricas, esta ferramenta pode abranger mais de um processo, detalhando e evidenciando operações que devem ser analisadas com maior prioridade e até eliminando outras que não agregam valor ao fluxo produtivo (BARNES, 1977).

Essa ferramenta é de grande acessibilidade, podendo ser utilizada por qualquer colaborador ou integrante do fluxo produtivo. Ela compreende símbolos para criação dos diagramas, que demonstram as etapas do processo. Derivando dos símbolos criados por Gilbreth, a *American Society of Mechanical Engineers*, criou em 1957, um padrão de cinco símbolos apresentados na Fig. 7.

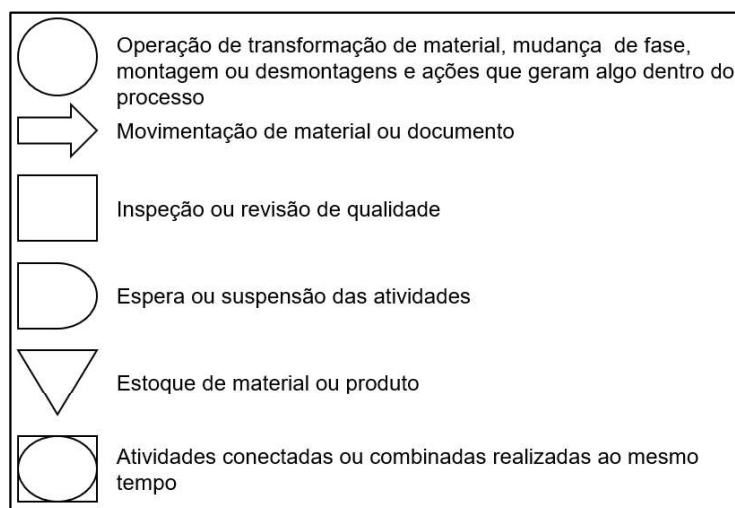


Figura 7 – Símbolos para criação de gráfico de fluxo de processos (ASME, 1957)

Estes símbolos representam as operações, movimentações ou transportes, inspeções, esperas, estoque e atividades conectadas ou combinadas respectivamente (BARNES, 1977). Peinado e Graeml (2007) apresentam um formulário padronizado para construção do diagrama de fluxo de processos, apresentado na Fig. 8.

| DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO |                        |         |                   |                      |  |
|-------------------------------|------------------------|---------|-------------------|----------------------|--|
| Processo:                     |                        |         | Local:            |                      |  |
| Produto:                      |                        |         | Analista:         |                      |  |
| Nº                            | Descrição da atividade | Duração | Tipo de atividade | Distância percorrida |  |
| 1                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 2                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 3                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 4                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 5                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 6                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 7                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 8                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 9                             |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |
| 10                            |                        |         | ○ ➡ D ▽           |                      |  |

Resumo da operação:

| Atividade | ○          | □ | ➡ | D | ▽ | Total | Distância total: _____          |
|-----------|------------|---|---|---|---|-------|---------------------------------|
| Itens     | Quantidade |   |   |   |   |       | Índice de aproveitamento: _____ |
|           | %          |   |   |   |   |       |                                 |
| Tempos    | Valor      |   |   |   |   |       | Data ____ / ____ / ____         |
|           | %          |   |   |   |   |       |                                 |

Figura 8 – Formulário padronizado para diagrama de fluxo de processos (PEINADO e GRAEML, 2007)

Combinando-se os símbolos do fluxo de processos com linhas de direção das operações nas plantas ou *layout*, é possível obter uma visualização ainda melhor de todas as etapas e operações. Adicionando anotações aos símbolos, obtém-se o fluxograma, proporcionando maior clareza às etapas do processo avaliado (BARNES, 1977). Conforme Groover (2013), os fluxogramas fornecem uma imagem detalhada do processo sendo útil para compreensão no estudo de análise de operações. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) ressaltam a importância da utilização dos fluxogramas na determinação de melhorias, pois permitem identificar problemas e proporcionam mais clareza sobre os mecanismos ou funcionamentos internos de uma operação.

De acordo com Peinado e Graeml (2007), existem diferentes formas para desenhar os fluxogramas, não havendo uma forma rígida na sua elaboração. Os tipos distintos de fluxogramas são expostos na Fig. 9.

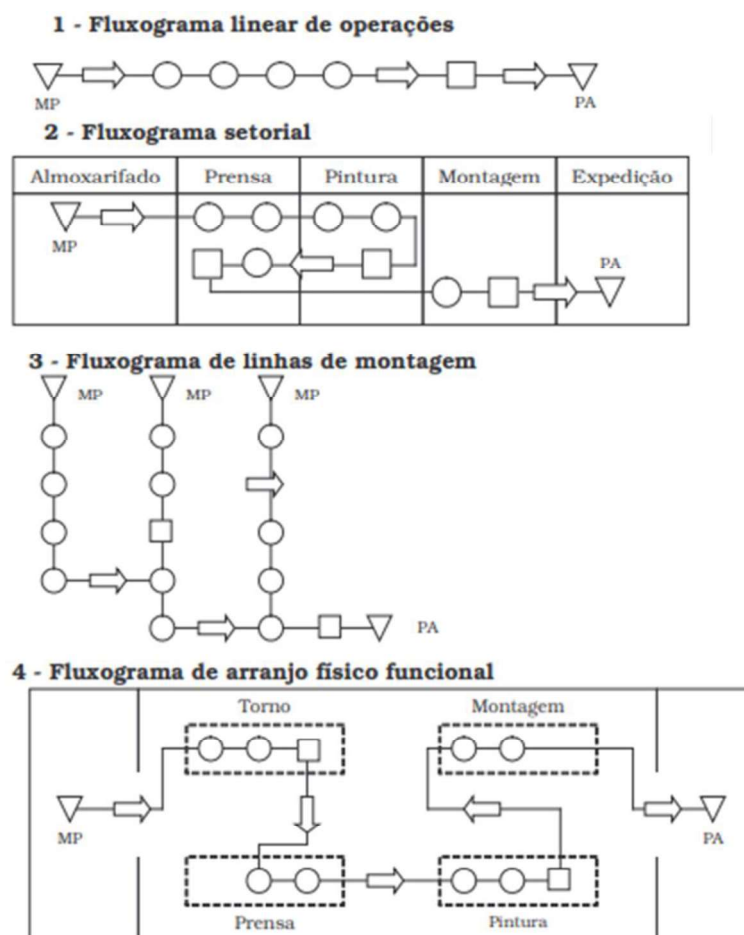


Figura 9 – Tipos de fluxogramas, em que MP é a matéria prima e PA é o produto acabado (PEINADO e GRAEML, 2007)

Estes diagramas representam uma subdivisão dos processos em função do tempo (BARNES, 1977). Estão relacionadas às distâncias percorridas durante as

etapas do processo. Uma das ferramentas mais simples a ser utilizadas é o diagrama de espaguete, exemplificado na Fig. 10, pois fornece de maneira visual, com o uso de linhas do ponto de início e fim, a combinação entre movimentos e etapas dentro dos processos para melhor eficácia e eficiência na realização do trabalho, sendo definidos como gráficos essenciais em estudos e desenvolvimento de operações e trabalho padronizado (BRANT, 2020).

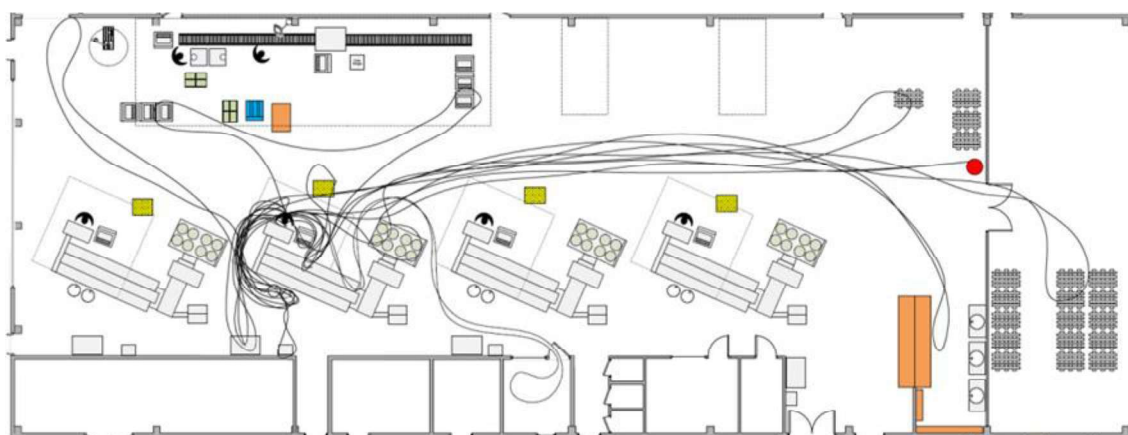


Figura 10 – Diagrama de Espaguete em uma fábrica de detonadores, mostrando fluxo dos operados entre máquinas, estoque e atividades administrativas (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017)

Por meio do diagrama de espaguete, os movimentos podem ser mapeados para os vários operadores das estações de trabalho e para cada tipo de produto. Utilizando cores diferentes, a construção do diagrama permite calcular o tamanho final das distâncias percorridas e suas repetições. Assim, possibilita uma avaliação da redução e eliminação de movimentação desnecessária ou ineficiente na otimização de *layout* dentro das estações de trabalho (SENDERSKÁ; MAREŠ; VÁCLAV, 2017).

O tempo de processamento dentro do ciclo pode ser reduzido por meio da avaliação do gráfico de homem-máquina, pois permite entender o tempo de inatividade da máquina e do operador, para que que este possa ser reduzido (Han; Lee; Choi, 2013).

Barnes (1977) ressalta que este diagrama compreende o registro do ciclo total das atividades homem-máquina, trabalhando intermitentemente, identificando os tempos de espera de ambos. Por meio destas informações, ações são listadas para aumentar eficiência das máquinas e equipamentos. O autor ainda expõe que é importante que a máquina opere próximo a sua capacidade, tendo em vista,

frequentemente, que o custo da máquina parada é semelhante de mantê-la em operação.

Para tanto, primeiramente, deve-se registrar quando a máquina e o operador exercem as atividades e em que essa consiste, sendo que, geralmente, consiste em: preparação; alimentação do material na máquina; execução. Khan (2004) acrescenta que o gráfico homem-máquina deve ter uma coluna para o homem e uma coluna para cada máquina, como mostrado no exemplo da Fig. 11.

|               |               |  |           |  |           |
|---------------|---------------|--|-----------|--|-----------|
| Operação:     |               |  |           |  |           |
| Operador:     |               |  |           |  |           |
| Método antigo |               |  | Data:     |  |           |
| Tempo         | Operador      |  | Máquina x |  | Máquina y |
|               | Preparando Mx |  | Inativa   |  | Inativa   |
|               | Preparando My |  | Operando  |  |           |
| Resumo        | Operador      |  | Máquina X |  | Máquina y |
| Tempo parado  |               |  |           |  |           |
| Tempo total   |               |  |           |  |           |
| Utilização    |               |  |           |  |           |

Figura 11 – Gráfico homem-máquina (KHAN, 2004)

Na Tabela 1, pode-se observar a síntese das ferramentas expostas que podem ser empregadas na análise do problema, com seu principal objetivo.

Tabela 1 – Ferramentas que podem ser empregadas na análise do problema

| Ferramenta                               | Objetivo                                                 |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Gráfico do fluxo do processo             | Detalhamento das operações                               |
| Fluxograma                               | Melhor visualização do processo                          |
| Diagrama de frequência dos deslocamentos | Redução da movimentação desnecessária                    |
| Gráfico homem-máquina                    | Redução do tempo de inatividade do operador e da máquina |

Fonte: Elaboração própria

O objetivo dessa etapa é determinar soluções que se enquadrem no critério e nas especificações estabelecidas. Para tanto, deve-se empregar o método de eliminação, podendo-se aplicar os princípios de economia de movimentos e usar a

criatividade. Quanto aos princípios da economia de movimentos, relacionados ao uso do corpo humano, tem-se (BARNES, 1977):

- 1) As duas mãos devem iniciar e terminar os seus movimentos no mesmo instante.
- 2) As duas mãos não devem permanecer inativas ao mesmo tempo, exceto durante os períodos de descanso.
- 3) Os movimentos dos braços devem ser executados em direções opostas e simétricas, devendo ser feitos simultaneamente.
- 4) Deve ser empregado o movimento manual que corresponda à classificação mais baixa de movimentos e com o qual seja possível executar satisfatoriamente o trabalho.
- 5) Deve-se empregar a quantidade de movimento a fim de ajudar ao trabalhador quando possível, sendo que esta deve ser reduzida ao mínimo nos casos em que tiver de ser vencida por esforço muscular.
- 6) Os movimentos suaves, curvos e contínuos das mãos são preferíveis aos movimentos em linha reta que necessitam mudanças bruscas de direção.
- 7) Os movimentos parabólicos são mais rápidos, mais fáceis e mais precisos do que movimentos restritos ou "controlados".
- 8) O trabalho deve ser disposto de forma a permitir ritmo suave e natural sempre que possível.
- 9) Fixações da vista deveriam ser tão reduzidas e tão próximas quanto possível.

Quanto à disposição do local de trabalho, Barnes (1977) apresenta os seguintes princípios:

- 10) Deve existir lugar definido e fixo para todas as ferramentas e materiais.
- 11) Ferramentas, materiais e controles devem se localizar perto do local de uso.
- 12) Deverão ser usados depósitos e caixas alimentadoras por gravidade para distribuição do material, o mais perto do local de uso.
- 13) A distribuição da peça processada deve ser feita por gravidade sempre que possível.
- 14) Materiais e ferramentas devem ser localizados de forma a permitir a melhor sequência de movimentos.
- 15) Deve-se providenciar condições adequadas para a visão. A boa iluminação é o primeiro requisito para percepção visual satisfatória.

- 16) A altura do local de trabalho e da banquetta devem ser tais, que possibilitem ao operador trabalhar alternadamente em pé e sentado, tão facilmente quanto possível.
- 17) Deve-se fornecer a cada trabalhador uma cadeira de tipo e altura tais que permitam boa postura para os trabalhos.

No que se refere aos projetos das ferramentas e do equipamento Barnes (1977) expõe os seguintes princípios:

- 18) As mãos devem ser aliviadas de todo o trabalho que possa ser executado mais convenientemente por um dispositivo, um gabarito, ou um mecanismo acionado a pedal.
- 19) Quando possível devem-se combinar duas ou mais ferramentas.
- 20) As ferramentas e os materiais devem ser pré-posicionados sempre que possível.
- 21) Nos casos em que cada um dos dedos execute um movimento específico, a carga deve ser distribuída de acordo com as capacidades intrínsecas de cada dedo.
- 22) Devem-se localizar alavancas, barras cruzadas e volantes em posições tais: que o operador possa manipulá-los com alteração mínima da posição do corpo e com a maior vantagem mecânica.

Quanto à criatividade, uma sessão de *brainstorming* pode ser desenvolvida. Essa técnica, conforme exposto por Prominski e Tian (2020), consiste em reunir um grupo para compartilhar ideias e resultados de pesquisas, identificando novas soluções. Para Bonnardel e Didier (2020) o *brainstorming* é estruturado por quatro regras, a saber: gerar o maior número possível de soluções; adiar o julgamento das soluções até o final da sessão; tentar ter ideias originais; combinar e desenvolver ideias existentes.

Na avaliação das alternativas, deve-se determinar a melhor solução, considerando o menor custo, menor investimento, maior rapidez e melhor qualidade (Barnes, 1977). Entretanto, Barnes (1977) salienta que é desejável selecionar três soluções, a saber: a ideal; a que é preferível para aplicação imediata; outra que poderá ser usada no futuro ou sob condições diferentes.

Ressalta-se que o aspecto humano deve ser avaliado nessa fase, tendo em vista que a solução escolhida depende de pessoas relacionadas ao processo, como supervisor do departamento ou de manutenção. Assim, a solução escolhida para

implementação pode ser aquela a ser colocada em prática com maior facilidade (Barnes, 1977).

Após a definição da solução, deve-se comunicá-la às pessoas. Para tanto, pode-se desenvolver relatórios, abrangendo possíveis objeções e dúvidas (Barnes, 1977). Uma apresentação com ferramentas visuais pode ser necessária, além de abordá-la de maneira clara e de fácil compreensão.

#### 2.4.2 *Padronização da operação*

Na padronização da operação, após a escolha do melhor método, a tarefa pode ser dividida em operações específicas e detalhadas. Os movimentos do operador, as dimensões, a forma e a qualidade do material, as ferramentas, os dispositivos, os gabaritos, os calibres e o equipamento, devem ser especificados com clareza. Para tanto, deve-se registrar o método padronizado com as especificações citadas (BARNES, 1977).

O padrão estabelece regras para atingimento de expectativas claras. Além disso, o padrão suporta os métodos de melhoria contínua, constituindo uma base para todas as atividades de melhorias e definem metas inovadoras. Sendo assim, a padronização pode ser compreendida como a prática de estabelecer, comunicar, seguir e melhorar padrões. Além disso, proporciona consistência por meio de critérios e práticas uniformes. Primeiro, deve-se melhorar o processo, depois padronizá-lo de forma que todos tenham conhecimento deste e possam segui-lo (THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002).

Os padrões de processo descrevem os procedimentos de trabalho e, geralmente, aparecem em folhas de processo ou folhas de instruções de trabalho. Estes documentos, preferencialmente, devem conter apenas uma página para que os operadores consigam ver rapidamente o que é necessário. As folhas de processo ou folhas de instruções de trabalho devem ser afixadas no local de trabalho e as exibições codificadas por cores. Devem conter (THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002):

- Objetivos claros dos padrões.
- Pontos de controle, pontos de verificação e outros dados de gerenciamento - em ambas as formas de frase e símbolos.
- Pontos de verificação divididos em categorias de “devem” versus “preferir”, indicando faixas normais e anormais de operação.
- Gráficos de dados que podem ser facilmente utilizados durante as operações, usando fotos e desenhos para mostrar informações complexas.

### 2.4.3 Determinação do tempo padrão

Após a padronização, Barnes (1977) afirma que se deve determinar o tempo padrão, ou seja, o tempo que uma pessoa qualificada deveria gastar para executar uma tarefa ou operação trabalhando normalmente.

Conforme exposto por Rehman et al. (2019), o cálculo do tempo padrão é importante para a atribuição de tarefas e equalização da carga de trabalho entre os operadores. Os autores realizaram um estudo de tempo padrão com o objetivo de aumentar a produtividade da linha de produção de uma fábrica de roupas de trabalho. Foi desenvolvida uma nova sequência de atividades, a redistribuição de tarefas para os postos de trabalho e balanceamento de linha com tempo de ciclo pré-determinado. A partir dos resultados, observou-se um aumento de 36% na produtividade média das máquinas.

O método mais comum de se medir o trabalho é a cronometragem, em que a operação é dividida em elementos e cada um é cronometrado. Nessa etapa, é importante que o observador da operação verifique a velocidade do operador e ajuste o tempo ao ritmo normal e adicione tolerâncias para necessidades pessoais, fadiga e esperas, resultando assim o tempo-padrão para a operação (BARNES, 1977).

Para definir o tamanho da amostra (número de observações), pode-se empregar a Eq.2 (Peinado e Graeml, 2007).

$$N = ((Z \times R) / (Er \times d_2 \times \bar{x}))^2 \quad (2)$$

Em que N é o número necessário de observações para prever o tempo verdadeiro; Z é o coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade determinada; R é a amplitude da amostra; Er é o erro relativo da medida;  $d_2$  = coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;  $\bar{x}$  é a média dos valores das observações.

O valor de Z dependerá do grau de confiança desejado, conforme Tab. 2, e o de  $d_2$  dependerá do número de cronometragens iniciais (Tab. 3). De acordo com Peinado e Graeml (2007), utiliza-se, usualmente, grau de confiabilidade da medida entre 90% e 95%, e erro relativo aceitável variando entre 5% e 10%.

Tabela 2 – Coeficiente de distribuição normal

| Probabilidade | 90%  | 91% | 92%  | 93%  | 94%  | 95%  | 96%  | 97%  | 98%  | 99%  |
|---------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Z             | 1,65 | 1,7 | 1,75 | 1,81 | 1,88 | 1,96 | 2,05 | 2,17 | 2,33 | 2,58 |

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

Tabela 3 - Coeficiente  $d_2$  para o número de cronometragens iniciais

| N     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| $d_2$ | 1,128 | 1,693 | 2,059 | 2,326 | 2,534 | 2,704 | 2,847 | 2,97 | 3,078 |

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

Para determinação do tempo normal, é necessário determinar o ritmo do operador. Para tanto, Slack et al. (2002) indica que se deve observar a velocidade de trabalho do colaborador, que será relativa ao conceito do observador sobre o desempenho padrão. Nessa observação, pode-se considerar fatores necessários para realizar o trabalho, como velocidade do movimento, esforço, destreza etc. Para uma melhor precisão na determinação do ritmo, Peinado e Graeml (2007) recomendam que um experiente chefe do setor seja consultado.

Assim, após definição do fator de ritmo, pode-se calcular o tempo normal, conforme Eq. 3 exposta por Barnes (1977).

$$TN = TO * (R/100) \quad (3)$$

Em que TN é o Tempo normal, TO é o Tempo selecionado e R é o Ritmo percentual.

Ressalta-se que o tempo normal não considera as tolerâncias. Para tanto, tem-se o tempo padrão, que deve considerar a duração de todos os elementos da operação e o tempo para todas as tolerâncias necessárias. Há a tolerância pessoal, para fadiga e para espera. A tolerância pessoal considera o tempo para as necessidades pessoais do operador. Considerando um trabalho leve, com o período de trabalho de 8h diárias, o trabalhador usará para tempo pessoal de 2 a 5% por dia (10 a 24 min). Para trabalhos mais pesados e desenvolvidos em condições adversas, como em atmosfera quente, pode ser que haja a necessidade de reservar mais de 5% do tempo para tolerâncias pessoais (BARNES, 1977).

A fadiga pode existir por diversos fatores, que estão relacionados ao físico e à mente. É uma medida complexa de ser realizada e o que é mais comumente empregado é o fornecimento de dois períodos de descanso, que variam de 5 a 15 min cada (BARNES, 1977).

Nurhayati, Zawiah e Mahidzal (2016) expõem que o desempenho ou capacidade de cada trabalhador afeta a sua produtividade, se este trabalha além do seu nível de capacidade, pode resultar em perda de produtividade, pois esta é

influenciada também pela incapacidade dos trabalhadores. Sendo assim, é importante considerar as tolerâncias relacionadas à fadiga para manutenção da boa produtividade.

A tolerância para espera inclui exemplos como: necessidade de ajustes rápidos, quebra de ferramentas, tempo perdido devido à variação ocasional no material e interrupções pelos supervisores. Para sua determinação, se deve realizar estudos durante um extenso período para coleta de dados de confiança (BARNES, 1977).

A partir da definição das tolerâncias, em porcentagem, o tempo padrão pode ser obtido por meio da Eq. 4.

$$TP = TN + (TN \times T) \quad (4)$$

Em que TP é o tempo padrão e T refere-se às tolerâncias em %.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

A avaliação dos métodos e mapeamento dos processos foi aplicada em uma fábrica de equipamentos agrícolas. Esta ocupa uma área total superior a 4 mil metros quadrados e emprega, aproximadamente, 1000 funcionários diretos.

Dentre as principais atividades efetuadas na empresa, tem-se as etapas de fabricação, pintura e montagem. Para desenvolvimento do estudo, foi selecionado o processo de fabricação soldagem, por ser considerado um processo chave da organização (*core competence*), que demanda uma elevada quantidade de colaboradores, que interagem com máquinas e equipamentos, além de envolver um número elevado de movimentações. Portanto, esse processo impacta significativamente na produtividade da organização.

O processo de soldagem realizado nesta fábrica é essencialmente o GMAW, em que os principais itens da estação de trabalho são as fontes de soldagem, tochas, ferramentas manuais, gabaritos ou dispositivos de soldagem, lanças ou braços giratórios. Esta configuração de estação de trabalho é similar e aplicada em todas as 20 estações de trabalho que a fábrica possui. Todas elas apresentam oportunidades para melhorias.

A sequência de etapas de aplicação deste trabalho foi baseada nos estudos de Barnes (1977), conforme pode ser observado no fluxograma da Fig. 12. Nas próximas sessões, as etapas constituintes do fluxograma serão detalhadas.

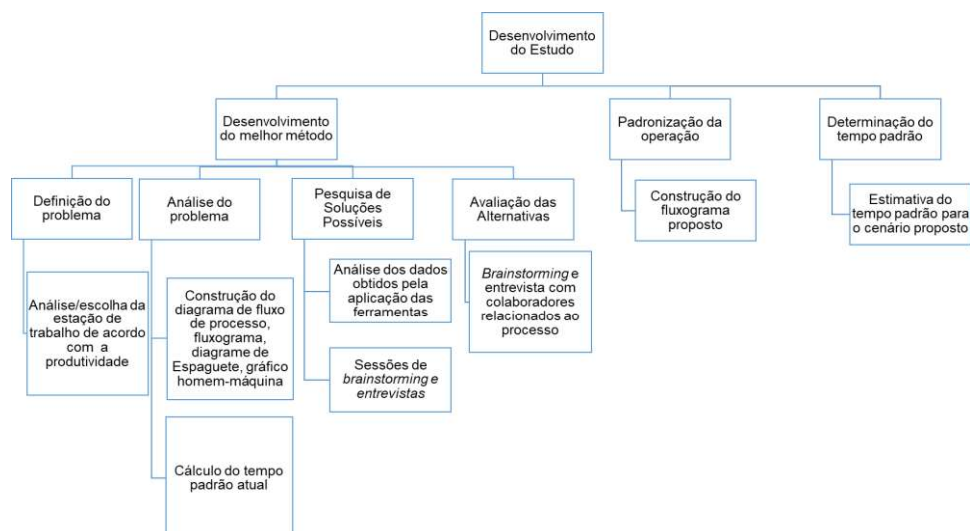


Figura 12 – Etapas de desenvolvimento do estudo (Adaptação, Barnes 1977)

### 3.1 Definição do problema

Para a realização do presente trabalho, optou-se por escolher uma estação de trabalho do processo de soldagem GMAW, de forma a aprofundar as análises de estudo de tempo, movimentos e métodos, objetivando a melhoria na produtividade. Para tanto, os valores de produtividade das 20 estações de trabalho foram analisados. O período avaliado foi de janeiro a junho do ano de 2022, pois aborda os três cenários de volume de produção que a empresa trabalha: baixo, normal e alto. Assim, os dados representam resultados de todos os cenários que podem ser aplicados. Com base nos dados, criou-se gráfico consolidado (Figura 14, Capítulo 4), por meio do *software* Excel, contendo a avaliação da situação atual.

A partir dessa análise, a estação de trabalho que apresentou o menor valor de produtividade no período avaliado, foi a escolhida. Considerou-se a meta de produtividade definida pela empresa, como valor mínimo a ser atingido.

### 3.2 Análise do problema

Para análise do problema, baixa produtividade, realizou-se entrevistas com soldadores, observações *in loco* e utilizou-se de filmagens disponibilizadas pela empresa arquivadas em seu banco de dados. Assim, avaliou-se todas as movimentações do soldador na estação de trabalho escolhida, a saber: as interações com gabaritos de soldagem, manipulação de equipamentos de movimentação de peças, acionamento de botoeiras, uso de ferramentas manuais, realização do

processo de soldagem, inspeção do processo e movimentação final para o processo posterior.

Para análise do processo, utilizou-se dos arquivos disponibilizados pela empresa. O número de filmagens a serem avaliadas foi determinado pela Eq. 2, considerando o nível de confiança de 95% e um erro relativo de 5%. Os dados referentes aos tempos de execução das tarefas foram tabulados.

As ferramentas para mapeamento do ciclo realizado pelo soldador na estação de trabalho em avaliação, foram:

- Fluxograma com estilo linear;
- Diagrama de fluxo de processos;
- Diagrama de espagete;
- Gráfico homem-máquina.

Primeiramente construiu-se os fluxogramas de processo. Para tanto, analisou-se as filmagens e registou-se suas etapas e sequências. Após essa etapa, construiu-se o gráfico de fluxo de processos, utilizando simbologia padrão, descrevendo cada etapa do ciclo de soldagem, com seu respectivo tempo e distância percorrida. Essa etapa constituiu-se das atividades de movimentação de peças, montagem no gabarito, aplicação da soldagem combinada com giros do gabarito, inspeção ao final da soldagem e a movimentação final para carro com sistema de rodas e tracionado via rebocador tripulado, utilizado na movimentação do item até a processo de pintura.

Para evidenciar a frequência dos deslocamentos, foi elaborado o diagrama de espagete, por meio de representação por linhas, que indicam o deslocamento do operador. Para tanto, o *layout* da estação de trabalho foi esquematizado, com demonstração da localização dos equipamentos e máquinas.

Elaborou-se o Gráfico homem-máquina a partir das observações e cronometragens dos momentos de atividade e inatividade do equipamento de soldagem e do operador.

Nesta etapa, também se calculou o tempo normal e o tempo padrão do processo atual. Para tanto, as Eq. 3 e 4 foram utilizadas. Os valores para o ritmo, o fator de tolerância e fadiga do operador são padronizados pela empresa. Portanto, para sua determinação, o banco de dados da organização foi consultado. Assim, o tempo padrão foi calculado.

### **3.3 Pesquisa de possíveis soluções e alternativas**

Para identificar possíveis soluções, aplicou-se os princípios de economia de movimentos descritos por Barnes (1977). Para tanto, as filmagens foram avaliadas.

Além disso, elaborou-se sessões de *brainstorming* com a participação de do supervisor e facilitador do processo avaliado, além do engenheiro de fábrica responsável pelo desenvolvimento deste processo.

Também, analisou-se os dados obtidos por meio da aplicação dos diagramas e gráficos desenvolvidos para possíveis alternativas.

Nestes momentos, foram verificadas a viabilidade operacional de aplicação, facilidade e tempo de implementação, baseada na experiência dos colaboradores.

### **3.5 Padronização do processo**

A padronização do fluxo de processo foi aplicada por meio da construção de fluxogramas que abordaram as melhorias propostas. Além disso, construiu-se um novo layout proposto. Estes foram mostrados e explicados para os engenheiros que desenvolvem o processo para validação.

### **3.6 Determinação do Tempo padrão**

Após construção do novo fluxograma de processo, considerando as melhorias identificadas (fluxo de processo e *layout* proposto), o tempo padrão para o cenário proposto foi estimado.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, são apresentados os resultados do estudo, com sequência baseada nas etapas descritas na metodologia.

#### 4.1 Definição do Problema

Para o processo de soldagem realizado na fábrica avaliada, todo produto acabado é definido como um conjunto soldado. Este conjunto soldado é formado por vários itens, sendo chapas, tubos e outros perfis de composição metálica que são montados nos gabaritos e posteriormente são unidos pelo processo de soldagem.

Cada conjunto soldado, após finalizada sua fabricação, recebe um número padrão, formado por letras e números conhecido como *part number*. Este *part number* se mantém o mesmo, independente do dia e mês que é produzido, sendo alterado somente pela engenharia de fábrica, quando necessário.

O tempo de processo de fabricação dos conjuntos são desenvolvidos pelo setor de Engenharia de fábrica e disponibilizado no sistema com interface do *software* SAP. Esse tempo é definido como tempo de roteiro de fabricação, utilizando unidade de horas.

Após finalizar o conjunto soldado, o soldador realiza uma operação no sistema denominada apontamento, que contabiliza o tempo do produto acabado. Esses valores são somados, considerando os conjuntos soldados produzidos por todas as estações, em todos os dias trabalhados ao final do mês. Assim, a produtividade da fábrica é calculada pela divisão das horas totais dos conjuntos soldados apontados pelas horas totais trabalhadas no período do mês.

A meta de produtividade estabelecida pela empresa é de 0,676, o que corresponde a 67,6% de produtividade desejada para cada estação. Este indicador contribui para determinação do cálculo da participação nos resultados dos colaboradores.

Os dados referentes à avaliação da produtividade das 20 estações de trabalho no processo de soldagem, no período de janeiro a junho de 2022, podem ser observados na Fig. 13.

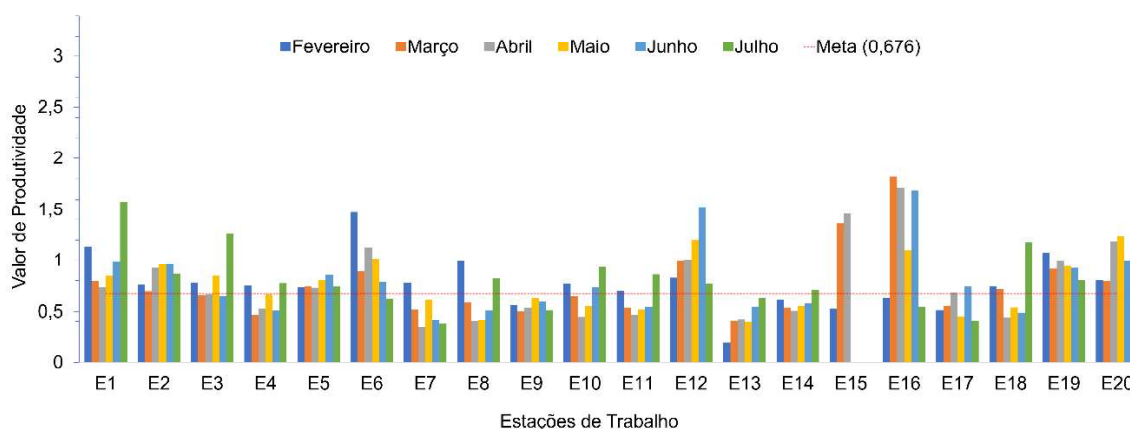


Figura 13 – Valores de produtividade das 20 estações de trabalho do processo de soldagem no período de janeiro a junho de 2022 (Elaboração própria)

Nota-se que nas estações E1, E2, E5, E6, E12, E19 e E20 apresentaram valores de produtividade acima da meta em todos os meses avaliados. No mês de março, algumas estações apresentaram altos valores para a produtividade, em relação à meta, sendo que a estação E16 apresentou um valor 67% maior que a meta.

Para as estações E9, E13 e E14 não houve nenhum valor igual ou acima da meta em todo período avaliado. Observa-se que a estação E13 apresentou valores de produtividade entre 0,194, em fevereiro, e 0,629 (em julho), configurando como a estação de trabalho de menor produtividade dentre as 20 estações avaliadas. Portanto, a estação E13 constitui objeto de estudo do presente trabalho.

## 4.2 Análise do problema

Para que fosse possível representar o processo avaliado de forma mais clara e objetiva, o *layout* da estação de trabalho em que este ocorre é mostrado na Fig. 14, em vista superior.

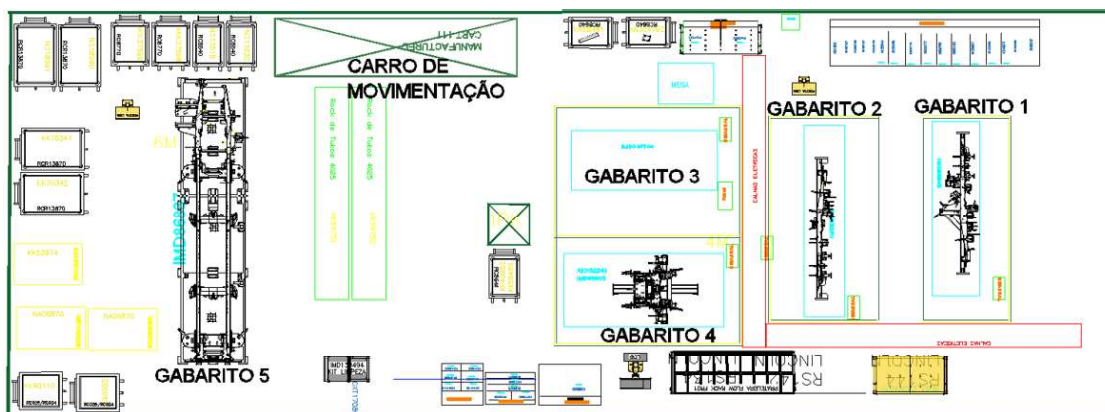


Figura 14 – Representação ilustrativa do *layout* em vista superior da estação em estudo (Elaboração própria)

A estação de trabalho é constituída por aproximadamente 214 m<sup>2</sup>, preenchidos com embalagens de peças nas extremidades, gabaritos de soldagem na região central, corredores de acesso entre estes equipamentos, braços giratórios suspensos para sustentação das fontes de soldagem e carro para movimentação do conjunto soldado finalizado até o processo de pintura.

A sequência do processo de montagem e soldagem dos conjuntos iniciam-se no gabarito 1 e finalizam-se no gabarito 5. Todas as peças e conjuntos acima de 16 quilogramas, são movimentados com uso de equipamentos de içamento e movimentação.

Para cada gabarito, há uma lista de tarefas que resultam no conjunto final, que nesta estação de trabalho é o chassi de uma máquina agrícola. Na Figura 15, é representado qual conjunto do chassi é montado em cada gabarito. No gabarito 1, é produzida a lateral direita do chassi. No 2, processa-se a lateral esquerda e, no 3, estes subconjuntos são unidos, formando a parte frontal do chassi. No gabarito 4, é produzida a parte traseira do chassi e, no 5, realiza-se a união da parte frontal com a traseira.

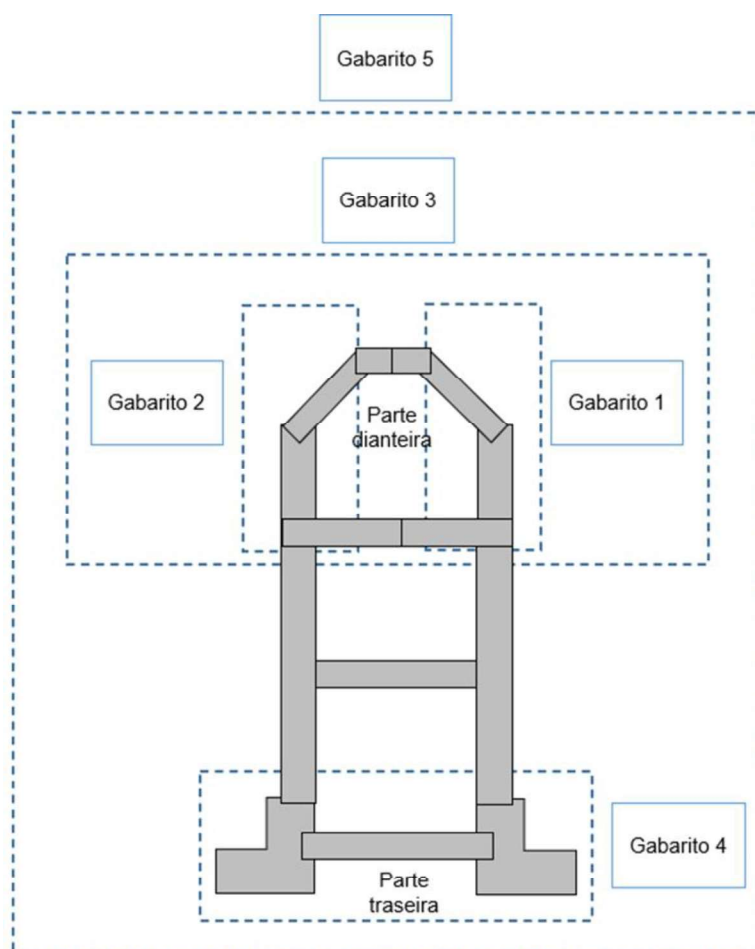


Figura 15 – Desenho representativo do chassi de uma máquina agrícola, em vista superior, relacionando o respectivo gabarito para soldagem (Elaboração própria)

Para análise do problema, foram criados os fluxogramas do processo, gráfico do fluxo do processo, gráfico homem-máquina e o diagrama de espaguete. Para tanto, necessitou-se realizar o detalhamento das atividades executadas pelo operador. Inicialmente, foram coletadas sete amostras por meio de filmagens. Todas as movimentações foram observadas e documentadas. Além disso, os seus tempos correspondentes e distâncias percorridas foram identificados.

De forma a avaliar se o tamanho da amostra foi adequado para se realizar os estudos de maneira confiável, realizou-se o cálculo exposto pela Eq. 1. Para tanto, considerou-se o grau de confiabilidade da medida de 95% e erro relativo aceitável de 5%. Ressalta-se que as atividades desenvolvidas em cada gabarito da estação avaliada foram analisadas de maneira separada, para possibilitar seu maior detalhamento.

Assim, utilizou-se o coeficiente de distribuição normal ( $Z$ ) de 1,96 de acordo com a Tb. 2, o erro de 0,05 e o coeficiente para número de cronometragens iniciais ( $D_2$ ) de 2,704 (Tab. 3), considerando as 7 coletas iniciais. Conforme os resultados

expostos na Tab. 4. Nota-se que o número necessário para amostragem, é de 6, para o gabarito 2. Portanto, as sete amostras consideradas inicialmente são suficientes para o desenvolvimento do estudo.

Tabela 4 – Número de amostras (N) necessárias considerando o grau de confiança de 95 % e erro de 5%

| Gabarito | Z    | R   | Er   | D2    | $\bar{x}$ | N |
|----------|------|-----|------|-------|-----------|---|
| 1        |      | 315 |      |       | 2363,86   | 4 |
| 2        |      | 614 |      |       | 3892,47   | 6 |
| 3        | 1,96 | 402 | 0,05 | 2,704 | 3027,43   | 4 |
| 4        |      | 247 |      |       | 4609,86   | 1 |
| 5        |      | 56  |      |       | 2892,57   | 1 |

Fonte: Autoria própria

#### 4.2.1. Fluxogramas de processo

Para compreensão geral do processo analisado, primeiramente, o fluxograma global, considerando as atividades desenvolvidas nos cinco gabaritos da estação de soldagem, foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 16.

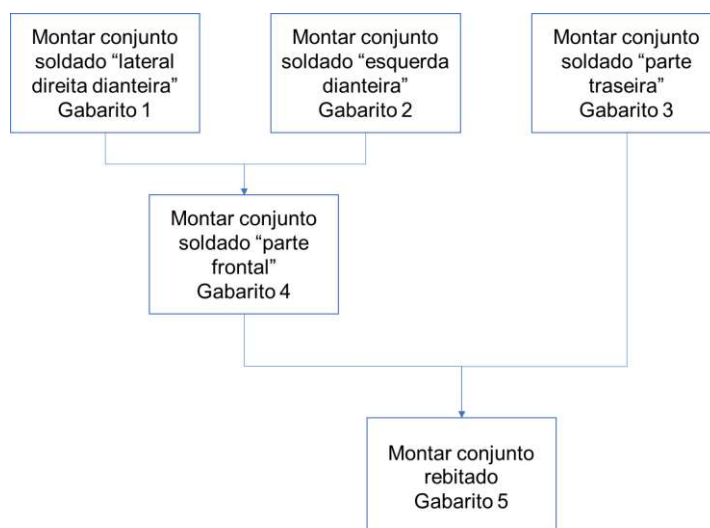


Figura 16 – Fluxograma geral das atividades da estação de trabalho (Autoria própria)

Considerando que na estação de trabalho são desenvolvidas atividades em cinco gabaritos diferentes, que demandam diversas etapas do processo, estas foram avaliadas detalhadamente de forma separada. Assim, foram construídos fluxogramas separados para atividades desenvolvidas em cada gabarito.

Na Figura 17, pode-se observar o fluxograma das atividades desenvolvidas no gabarito 1. Nota-se que o processo se inicia com a movimentação de peças das embalagens até a bancada. Ao avaliar todo o fluxograma, é notório que há muitas atividades de movimentação (14) intercaladas entre as operações de montagem e soldagem. Observa-se, também, que todas as atividades, tanto de movimentação, quanto de montagem e soldagem, ocorrem de maneira sequencial, tendo em vista que todo o processo é executado por um único soldador. Cabe destacar que os giros são atividades que não agregam valor ao produto, porém são necessárias ao processo para permitir que a próxima operação possa ser desenvolvida de maneira ergonômica pelo operador.

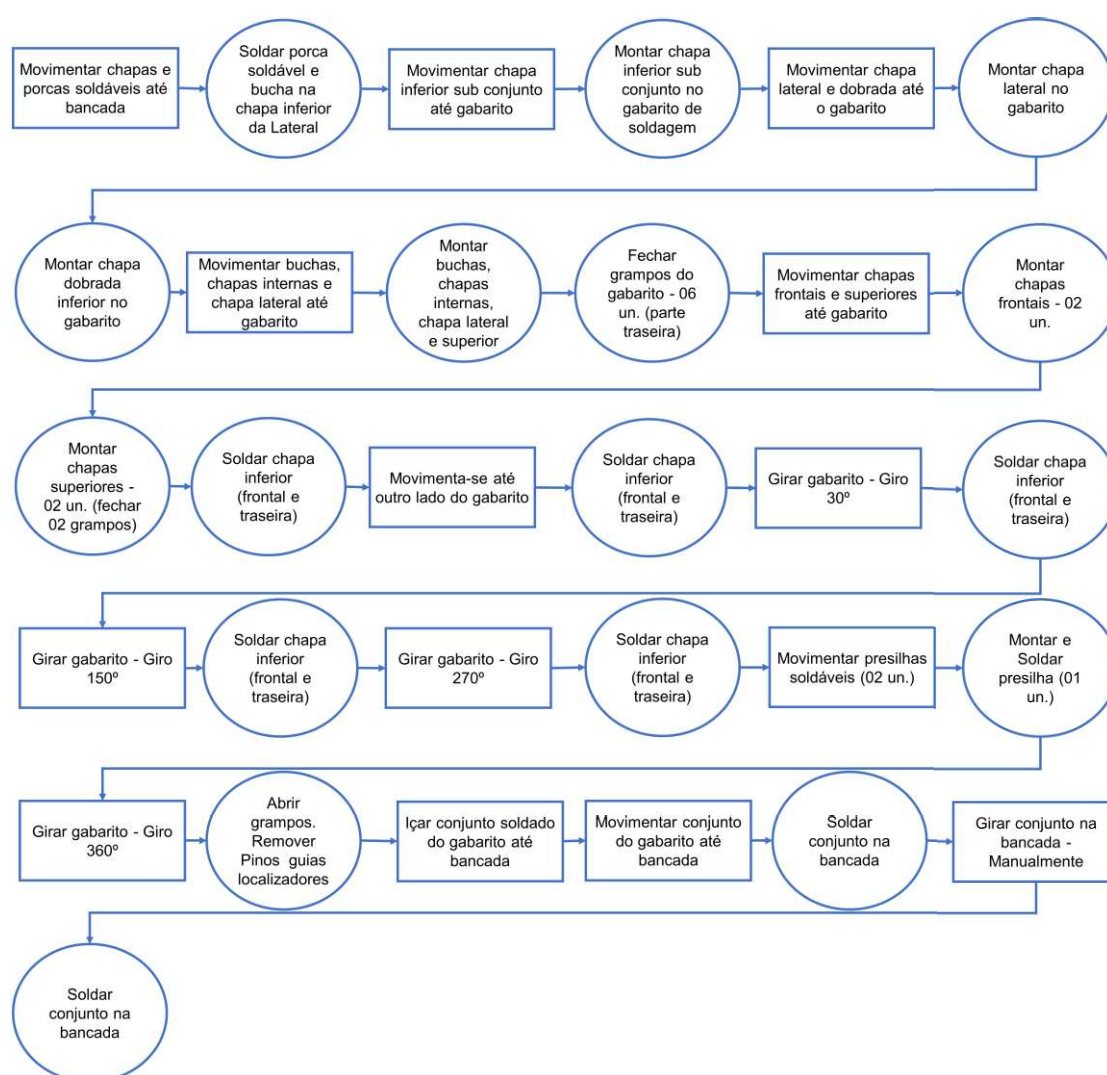


Figura 17 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 1 (Autoria própria)

Na Figura 18, é mostrado o fluxograma de processo das atividades desenvolvidas no gabarito 2. Ressalta-se que, embora os subconjuntos montados no

gabarito 1 e 2 tenham design semelhantes, o fluxograma do gabarito 2 apresenta um número maior de etapas de operação (36) e movimentação (15), pois é responsável pela produção de um subconjunto de maior complexidade e funções estruturais para o chassi.

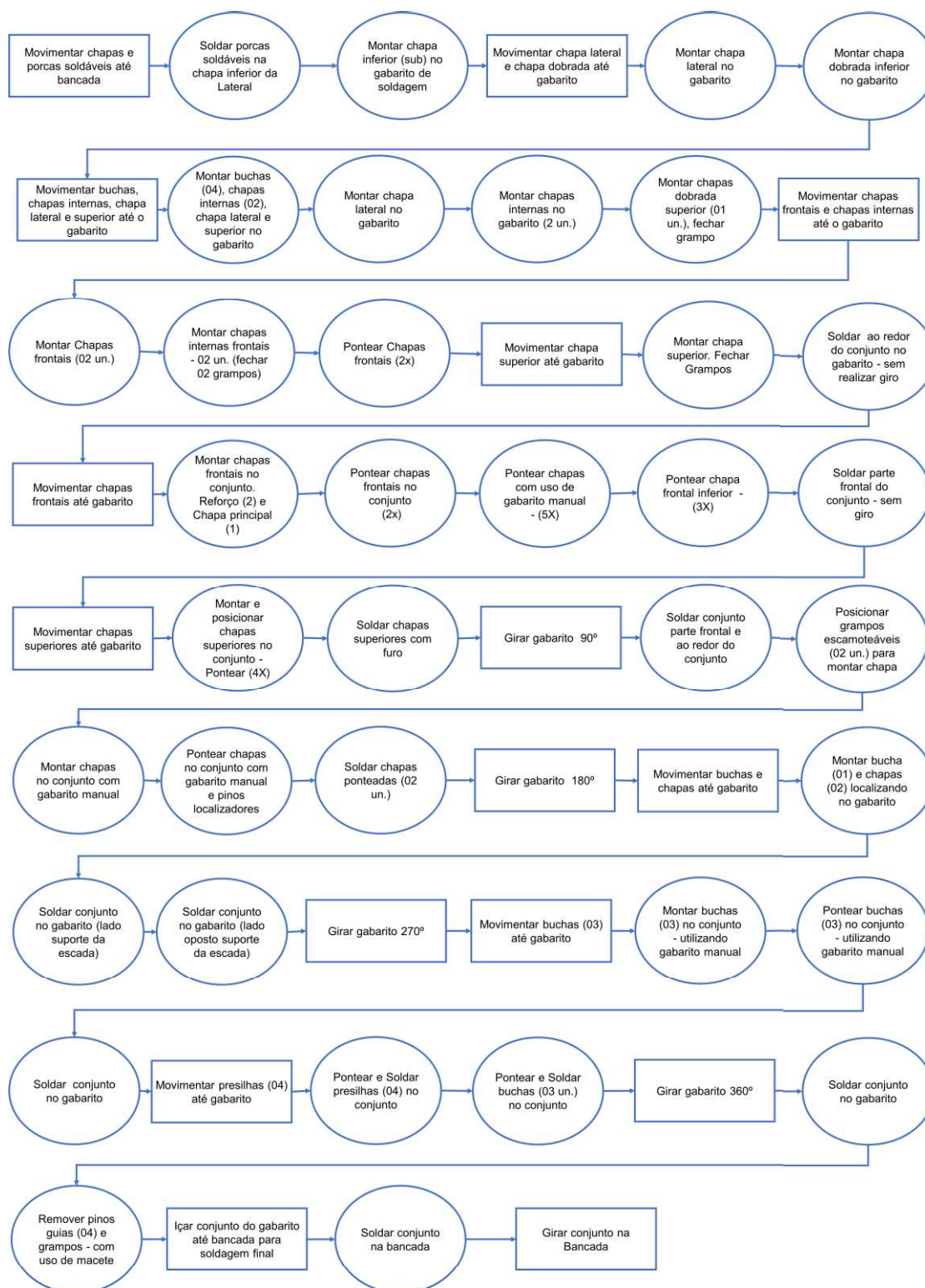


Figura 18 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 2 (Autoria própria)

Na Figura 19, é mostrado o fluxograma das atividades desenvolvidas no gabarito 3, em que ocorre a junção dos subconjuntos lateral direita (produzido no gabarito 1) e lateral esquerda (produzido no gabarito 2) do chassi. Este processo apresenta um menor número de movimentação (9), pois recebe as laterais prontas, necessitando movimentar apenas algumas peças menores.

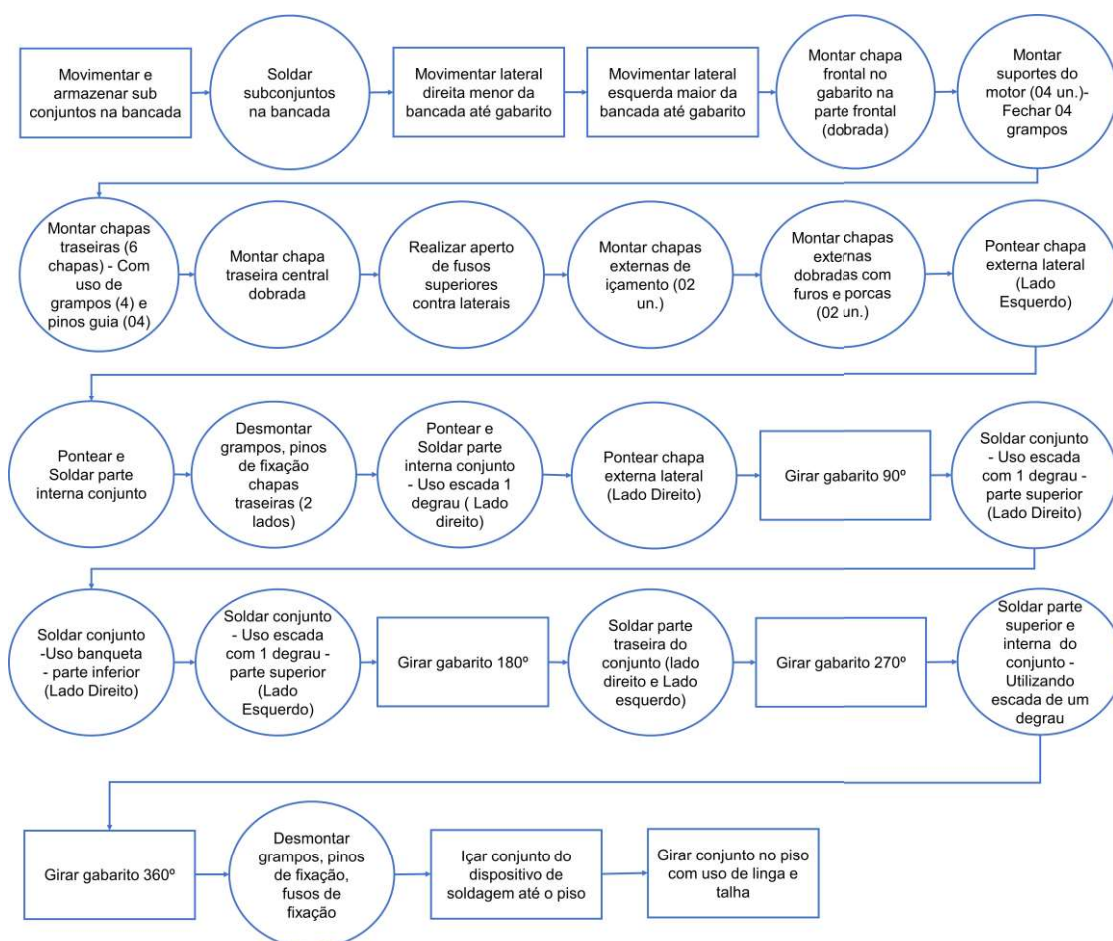


Figura 19 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 3 (Autoria própria)

Na Figura 20 está exposto o fluxograma do processo desenvolvido no gabarito 4. Nele, há 14 atividades de movimentação e 41 de operação. Nota-se que as atividades de movimentação estão concentradas no início do processo, seguidas de sequências que envolvem montagens de itens, ponteamto e soldagem. Isso ocorre porque esse conjunto montado é mais robusto e suporta uma carga maior na funcionalidade do chassi, assim, ele tem um maior número de configuração de juntas a serem soldadas.



Na Figura 21, é mostrado o fluxograma das atividades que ocorrerem no gabarito 5, onde há a união dos conjuntos fabricados nos demais gabaritos. Ressalta-se que neste fluxo não há operação de soldagem, ocorrendo apenas montagens e rebitagens. São 11 atividades de movimentação e 16 de operação.

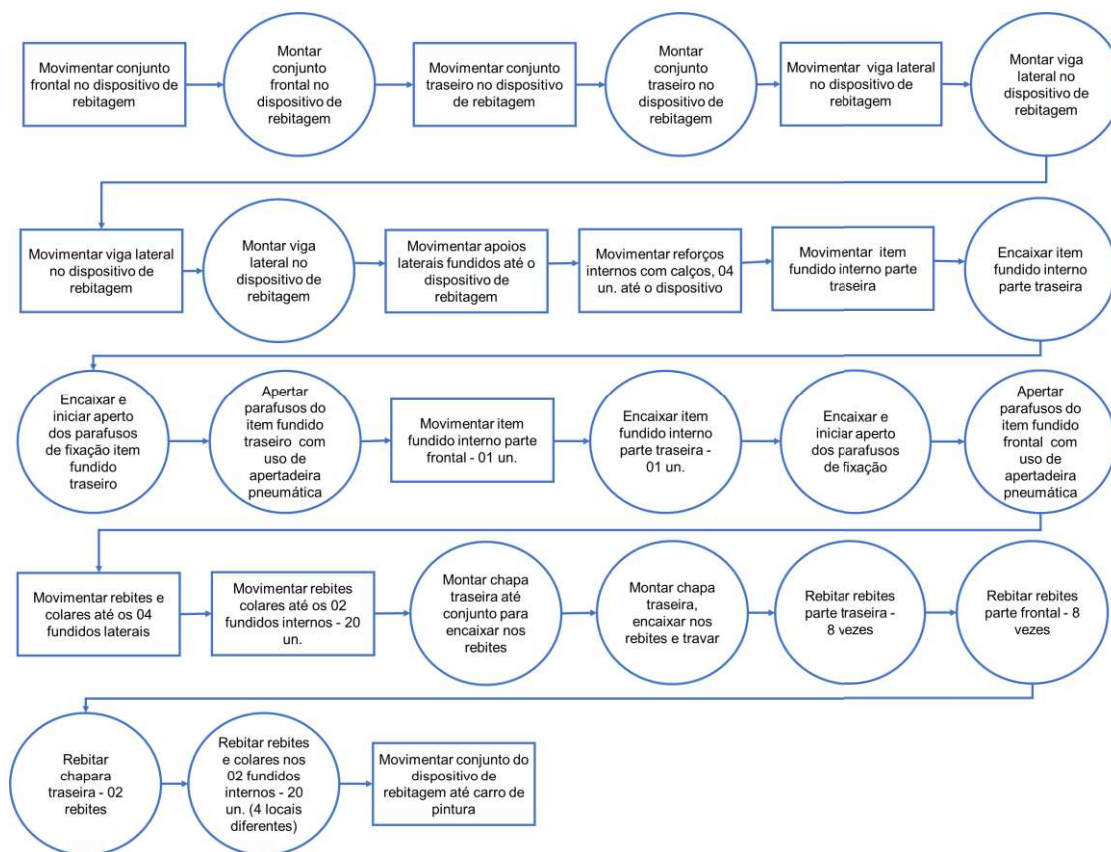


Figura 21 – Fluxograma de atividades realizadas no gabarito 5 (Autoria própria)

#### 4.2.2. Gráfico de Fluxo de Processo

Para avaliação detalhada das atividades, com seus respectivos tempos e distâncias inerentes, elaborou-se os gráficos do fluxo do processo. Na Figura 22, está exposto o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 1. Nota-se que, da distância total percorrida (96,7 m), 74,10 m refere-se à movimentação, em que são gastos aproximadamente 401,86 s, e 22,60 m referem-se à operação, com 1962,00 s gastos. Assim, observa-se que 77% da distância percorrida pelo operador e 17% do tempo total desta operação destina-se às atividades não agregadoras de valor (movimentação).

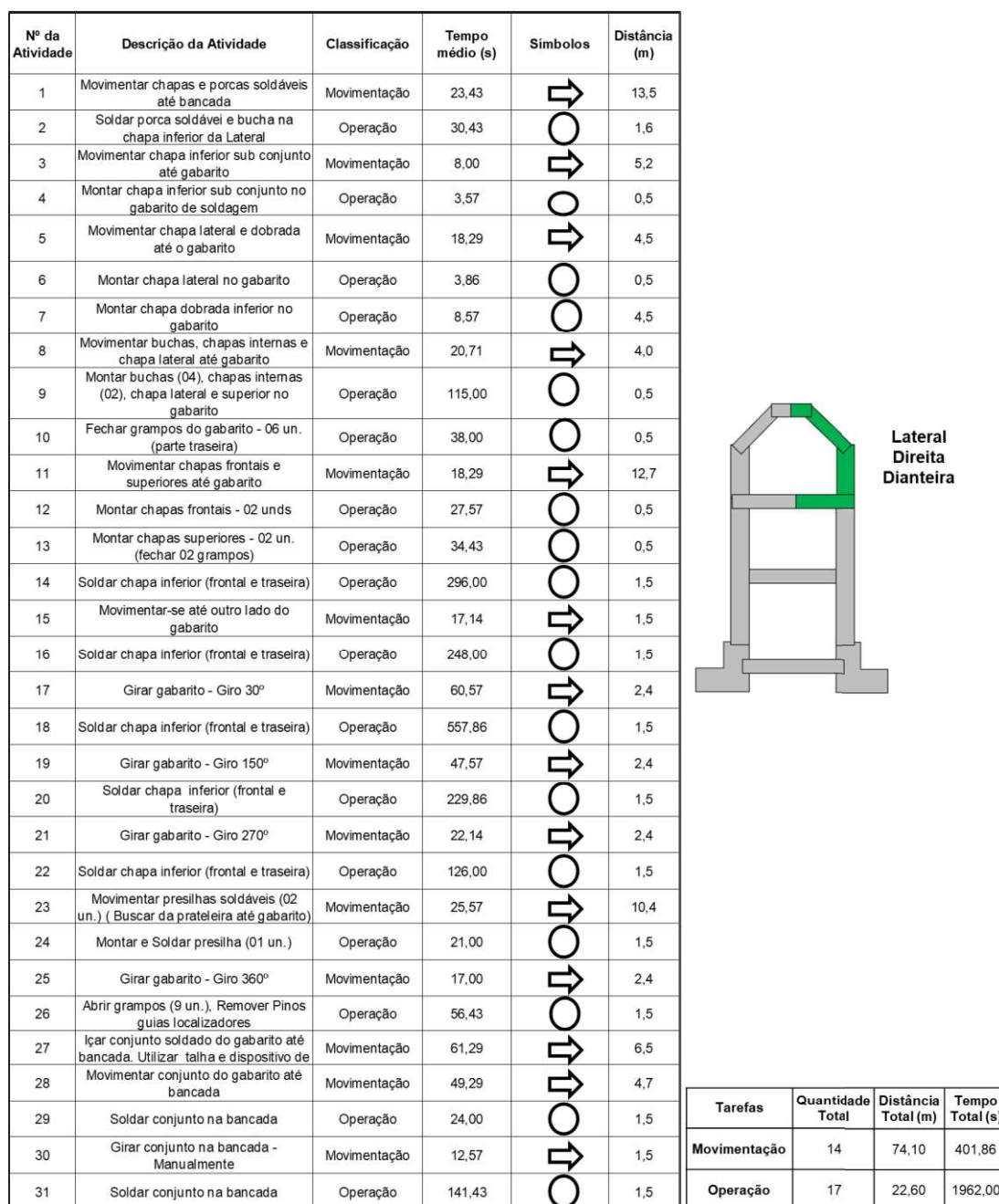


Figura 22 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 1, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 23, tem-se o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 2, em que é montado o conjunto soldado denominado lateral esquerda dianteira. Pode-se observar que, da distância total percorrida (275,7 m), 162,8 m referem-se ao deslocamento de peça de um local para outro, com tempo de 570,80 segundos, e 112,9 m à movimentação inerente à operação, com 3321,76 segundos de tempo de processo. Portanto, tem-se que 15 % do tempo desta operação e 59 % do

deslocamento do operador correspondem a atividades que não agregam valor (movimentação).

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                         | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                               | Movimentação  | 21,57           | ➡        | 4,8           |
| 2               | Soldar porcas soldáveis na chapa inferior da Lateral                           | Operação      | 36,14           | ○        | 1,6           |
| 3               | Montar chapa inferior (sub) no gabarito de soldagem                            | Operação      | 21,43           | ○        | 6,1           |
| 4               | Movimentar chapa lateral e chapa dobrada até gabarito                          | Movimentação  | 13,29           | ➡        | 13,6          |
| 5               | Montar chapa lateral no gabarito                                               | Operação      | 4,71            | ○        | 0,5           |
| 6               | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                      | Operação      | 7,57            | ○        | 0,5           |
| 7               | Movimentar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior até o gabarito    | Movimentação  | 19,00           | ➡        | 14,0          |
| 8               | Montar buchas (04), chapas internas (02), chapa lateral e superior no gabarito | Operação      | 16,14           | ○        | 7,8           |
| 9               | Montar chapa lateral no gabarito                                               | Operação      | 8,29            | ○        | 7,0           |
| 10              | Montar chapas internas no gabarito (2 un.)                                     | Operação      | 85,00           | ○        | 0,5           |
| 11              | Montar chapas dobrada superior (01 un.), fechar grampo.                        | Operação      | 41,43           | ○        | 0,5           |
| 12              | Movimentar chapas frontais e chapas internas até o gabarito                    | Movimentação  | 18,71           | ➡        | 15,2          |
| 13              | Montar Chapas frontais (02 un.)                                                | Operação      | 37,43           | ➡        | 0,5           |
| 14              | Montar chapas internas frontais - 02 un. (fechar 02 grampos)                   | Operação      | 21,00           | ○        | 0,5           |
| 15              | Pontear Chapas frontais (2x)                                                   | Operação      | 20,00           | ○        | 0,5           |
| 16              | Movimentar chapa superior até gabarito                                         | Movimentação  | 35,00           | ➡        | 9,4           |
| 17              | Montar chapa superior. Fechar Grampos                                          | Operação      | 8,14            | ○        | 0,5           |
| 18              | Soldar ao redor do conjunto no gabarito - sem realizar giro                    | Operação      | 576,71          | ○        | 7,6           |
| 19              | Movimentar chapas frontais até gabarito                                        | Movimentação  | 51,57           | ➡        | 18,1          |
| 20              | Montar chapas frontais no conjunto. Reforço (2) e Chapa principal (1)          | Operação      | 10,86           | ○        | 0,5           |
| 21              | Pontear chapas frontais no conjunto (2x)                                       | Operação      | 22,57           | ○        | 0,5           |
| 22              | Pontear chapas com uso de gabarito manual - (5X)                               | Operação      | 42,57           | ○        | 3,1           |
| 23              | Pontear chapa frontal inferior - (3X)                                          | Operação      | 32,71           | ○        | 0,5           |
| 24              | Soldar parte frontal do conjunto - sem giro                                    | Operação      | 359,00          | ○        | 0,5           |
| 25              | Movimentar chapas superiores até gabarito                                      | Movimentação  | 41,29           | ➡        | 10,2          |
| 26              | Montar e posicionar chapas superiores no conjunto - Pontear (4X)               | Operação      | 20,29           | ○        | 1,1           |
| 27              | Soldar chapas superiores com furo                                              | Operação      | 30,04           | ○        | 0,5           |
| 28              | Girar gabarito 90°                                                             | Movimentação  | 29,14           | ➡        | 9,8           |
| 29              | Soldar conjunto parte frontal e ao redor do conjunto                           | Operação      | 517,29          | ○        | 6,0           |

|    |                                                                                                        |              |        |   |      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---|------|
| 30 | Montar grampos escamoteáveis (02 un.) para montar chapa                                                | Operação     | 9,43   | ○ | 0,3  |
| 31 | Montar chapas no conjunto com gabarito manual                                                          | Operação     | 40,43  | ○ | 7,5  |
| 32 | Pontear chapas no conjunto com gabarito manual e pinos localizadores - (4X)                            | Operação     | 31,57  | ○ | 0,5  |
| 33 | Soldar chapas ponteadas (02 un.)                                                                       | Operação     | 83,43  | ○ | 0,5  |
| 34 | Girar gabarito 180°                                                                                    | Movimentação | 28,29  | ➡ | 9,8  |
| 35 | Movimentar buchas e chapas até gabarito                                                                | Movimentação | 63,57  | ➡ | 18,8 |
| 36 | Montar bucha (01) e chapas (02) localizando no gabarito                                                | Operação     | 16,00  | ○ | 1,5  |
| 37 | Soldar conjunto no gabarito (lado suporte da escada)                                                   | Operação     | 217,86 | ○ | 3,0  |
| 38 | Soldar conjunto no gabarito (lado oposto suporte da escada)                                            | Operação     | 245,71 | ○ | 3,0  |
| 39 | Girar gabarito 270°                                                                                    | Movimentação | 21,57  | ➡ | 3,1  |
| 40 | Movimentar buchas (03) até gabarito                                                                    | Movimentação | 5,29   | ➡ | 1,5  |
| 41 | Montar buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                                            | Operação     | 24,86  | ○ | 1,5  |
| 42 | Pontear buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                                           | Operação     | 44,29  | ○ | 0,5  |
| 43 | Soldar conjunto no gabarito                                                                            | Operação     | 440,71 | ○ | 1,1  |
| 44 | Movimentar presilhas (04) até gabarito                                                                 | Movimentação | 48,57  | ➡ | 15,0 |
| 45 | Pontear e Soldar presilhas (04) no conjunto                                                            | Operação     | 86,71  | ○ | 1,0  |
| 46 | Pontear e Soldar buchas (03 un.) no conjunto                                                           | Operação     | 33,71  | ○ | 1,0  |
| 47 | Girar gabarito 360°                                                                                    | Movimentação | 38,00  | ➡ | 3,1  |
| 48 | Soldar conjunto no gabarito                                                                            | Operação     | 48,14  | ○ | 21,6 |
| 49 | Remover pinos guias (04) e grampos - com uso de macete                                                 | Operação     | 53,71  | ○ | 21,6 |
| 50 | Levar conjunto do gabarito até bancada para soldagem final - utilizar talha, linga e disp. De içamento | Movimentação | 123,00 | ➡ | 14,7 |
| 51 | Soldar conjunto na bancada                                                                             | Operação     | 25,86  | ○ | 1,5  |
| 52 | Girar conjunto na Bancada                                                                              | Movimentação | 12,14  | ➡ | 0,8  |

Lateral  
Esquerda  
Dianteira

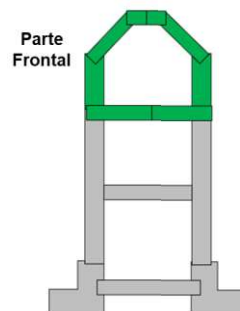
  

| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 16               | 162,8               | 570,80          |
| Operação     | 36               | 112,9               | 3321,76         |

Figura 23 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 2, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 24, é exposto o gráfico do fluxo do processo referente ao gabarito 3, em que é montado o conjunto soldado denominado parte frontal. Observa-se que 85,89 m são percorridos pelo soldador para realizar as operações que agregam valor, em 2596,29 segundos, enquanto 66,40 m referem-se à movimentação de peças, com o tempo correspondente de 431,14 segundos. Assim, 44 % da distância percorrida pelo operador e 14% do tempo total desta operação são destinados às atividades que não agregam valor.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                      | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar e armazenar sub conjuntos na bancada                                                             | Movimentação  | 61,71           | ⇒        | 30,6          |
| 2               | Soldar subconjuntos na bancada                                                                              | Operação      | 224,14          | ○        | 3,1           |
| 3               | Movimentar lateral direita menor da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                  | Movimentação  | 65,86           | ⇒        | 2,8           |
| 4               | Movimentar lateral esquerda maior da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                 | Movimentação  | 49,57           | ⇒        | 2,8           |
| 5               | Montar chapa frontal no gabarito na parte frontal (dobrada) - Travar 03 grampos, encaixar chapa espaçadora. | Operação      | 58,57           | ○        | 5,3           |
| 6               | Montar suportes do motor (04 un.)- Fechar 04 grampos - Utilizar escada 1 degrau                             | Operação      | 89,29           | ○        | 10,3          |
| 7               | Montar chapas traseiras (6 chapas) - Com uso de grampos (4) e pinos guia (04)                               | Operação      | 227,57          | ○        | 21,2          |
| 8               | Montar chapa traseira central dobrada, fixação por fuso e aperto com chave catraca                          | Operação      | 68,00           | ○        | 3,0           |
| 9               | Realizar aperto de fusos superiores contra laterais                                                         | Operação      | 35,86           | ○        | 0,3           |
| 10              | Montar chapas externas de içamento (02 un.)                                                                 | Operação      | 25,43           | ○        | 1,5           |
| 11              | Montar chapas externas dobradas com fusos e porcas (02 un.)                                                 | Operação      | 39,14           | ○        | 5,2           |
| 12              | Pontear chapa externa lateral (Lado Esquerdo)                                                               | Operação      | 43,86           | ○        | 3,6           |
| 13              | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado Esquerdo)                               | Operação      | 152,86          | ○        | 1,5           |
| 14              | Desmontar grampos, pinos de fixação chapas traseiras (ambos os lados)                                       | Operação      | 65,29           | ○        | 6,4           |
| 15              | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado direito)                                | Operação      | 192,71          | ○        | 3,2           |
| 16              | Pontear chapa externa lateral (Lado Direito)                                                                | Operação      | 34,71           | ○        | 3,2           |
| 17              | Girar gabarito 90°                                                                                          | Movimentação  | 22,71           | ⇒        | 4,3           |
| 18              | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Direito)                                   | Operação      | 119,14          | ○        | 3,2           |
| 19              | Soldar conjunto -Uso banqueta - parte inferior (Lado Direito)                                               | Operação      | 216,71          | ○        | 3,2           |
| 20              | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Esquerdo)                                  | Operação      | 161,86          | ○        | 3,2           |
| 21              | Girar gabarito 180°                                                                                         | Movimentação  | 23,57           | ⇒        | 4,3           |
| 22              | Soldar parte traseira do conjunto (lado direito e Lado esquerdo)                                            | Operação      | 377,00          | ○        | 2,0           |
| 23              | Girar gabarito 270°                                                                                         | Movimentação  | 18,14           | ⇒        | 4,3           |
| 24              | Soldar parte superior e interna do conjunto - Utilizando escada de um degrau                                | Operação      | 372,43          | ○        | 2,0           |
| 25              | Girar gabarito 360°                                                                                         | Movimentação  | 19,71           | ⇒        | 4,3           |
| 26              | Desmontar grampos, pinos de fixação, fusos de fixação                                                       | Operação      | 91,71           | ○        | 4,5           |
| 27              | Içar conjunto do dispositivo de soldagem até o piso - Utilizando Talha e linga com ganchos até o piso.      | Movimentação  | 83,71           | ⇒        | 9,8           |
| 28              | Girar conjunto no piso com uso de linga e talha                                                             | Movimentação  | 86,14           | ⇒        | 3,2           |



| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 09               | 66,40               | 431,14          |
| Operação     | 19               | 85,89               | 2596,29         |

Figura 24 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 3, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 25, observa-se o gráfico do fluxo do processo referente ao Gabarito 4, em que é montado o conjunto soldado denominado parte traseira. Do valor total da distância de movimentação (211,1 m), apenas 80,6 m referem-se à movimentação integrada à operação, enquanto 130,5 m correspondem às movimentações de peças de um local para outro. O alto valor da distância apresentado para movimentar as peças se deve à disposição das embalagens no *layout* da estação de trabalho, em que as peças a serem utilizadas são armazenadas em seis tipos diferentes de embalagens, posicionadas em locais diferentes e distantes em relação ao gabarito 4. Além disso, o baixo valor referente à distância percorrida na operação, se deve à pequena dimensão do conjunto soldado neste gabarito. Do tempo total deste processo, 10 % correspondem à movimentação que não agrega valor ao produto.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                                                                                                  | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar chapas até bancada para soldagem dos subconjuntos                                                                                                                            | Movimentação  | 29,57           | ⇒        | 14,6          |
| 2               | Pontear e soldar sub conjuntos na bancada (chapa dobrada junto com reforços triangulares externos)                                                                                      | Operação      | 85,29           | ○        | 2,2           |
| 3               | Reposicionar escamoteáveis no dispositivo travando 02 grampos - 02 un.                                                                                                                  | Operação      | 33,57           | ○        | 7,9           |
| 4               | Movimentar chapa dobrada até gabarito de soldagem                                                                                                                                       | Movimentação  | 14,43           | ⇒        | 7,9           |
| 5               | Montar chapa dobrada no dispositivo de soldagem - subconjunto. Fechar 01 grampo                                                                                                         | Operação      | 7,29            | ○        | 1,0           |
| 6               | Montar chapas laterais no dispositivo - 02 un.                                                                                                                                          | Operação      | 22,14           | ○        | 1,5           |
| 7               | Movimentar 2 chapas até o dispositivo (reforços laterais - chapas menores)                                                                                                              | Movimentação  | 16,43           | ⇒        | 14,4          |
| 8               | Movimentar buchas até dispositivo - 04 un.                                                                                                                                              | Movimentação  | 22,57           | ⇒        | 5,1           |
| 9               | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador - Fechar 02 grampos - Parte superior e inferior (Lado Esquerdo)                                                    | Operação      | 51,57           | ○        | 1,5           |
| 10              | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador - Fechar 02 grampos - Parte superior e inferior (Lado Direto)                                                      | Operação      | 60,57           | ○        | 1,5           |
| 11              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.                                                                                                                        | Movimentação  | 31,57           | ⇒        | 14,3          |
| 12              | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos - Lado Esquerdo e Direto                                                                                                          | Operação      | 41,00           | ○        | 1,5           |
| 13              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.                                                                                                                        | Movimentação  | 47,00           | ⇒        | 10,8          |
| 14              | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos - Lado Esquerdo e Direto                                                                                                          | Operação      | 29,43           | ○        | 1,5           |
| 15              | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un. (Chapas dobradas internas com 4 furos)                                                                                 | Movimentação  | 13,71           | ⇒        | 10,7          |
| 16              | Montar chapas dobradas internas com uso de localizador escamoteável, pinos guias e macetes - Lado Esquerdo e Direto.                                                                    | Operação      | 43,14           | ○        | 1,5           |
| 17              | Movimentar e montar tubos (superior e inferior) no conjunto.                                                                                                                            | Movimentação  | 45,00           | ⇒        | 14,8          |
| 18              | Movimentar chapas inferiores e buchas até dispositivos - Localizadas na parte inferior traseira do conjunto - 04 chapas/ 4 buchas. Utilizar macete                                      | Movimentação  | 14,57           | ⇒        | 3,1           |
| 19              | Montar chapas inferiores e buchas até dispositivos - Localizadas na parte inferior traseira do conjunto - 04 chapas/ 4 buchas. Utilizar macete (Lado Esquerdo e Direto) - Parte Externa | Operação      | 45,43           | ○        | 3,1           |
| 20              | Movimentar tubos diagonais até gabarito                                                                                                                                                 | Movimentação  | 40,29           | ⇒        | 14,2          |
| 21              | Montar tubos diagonais até o conjunto - 02 un.                                                                                                                                          | Operação      | 8,14            | ○        | 14,2          |
| 22              | Posicionar chapas reforços com uso de localizadores e grampos (parte superior tubos diagonais lado esquerdo e direito) - 04 un.                                                         | Operação      | 55,29           | ○        | 3,1           |
| 23              | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo (parte inferior tubos diagonais) - 04 un.                                                                                        | Operação      | 24,86           | ○        | 8,8           |
| 24              | Pontear conjunto parte superior - Lado esquerdo                                                                                                                                         | Operação      | 25,71           | ○        | 0,8           |
| 25              | Soldar conjunto parte superior - Lado esquerdo                                                                                                                                          | Operação      | 147,71          | ○        | 0,2           |
| 26              | Desmontar e remover grampos - lado esquerdo (04 un.)                                                                                                                                    | Operação      | 12,71           | ○        | 0,5           |
| 27              | Soldar conjunto parte inferior ( entre chapas e tubos diagonais) - Lado esquerdo                                                                                                        | Operação      | 228,86          | ○        | 0,5           |
| 28              | Soldar conjunto parte superior ( entre chapas e tubos diagonais) - Lado direito utilizando escada com degrau                                                                            | Operação      | 379,57          | ○        | 0,8           |
| 29              | Pontear e soldar conjunto parte traseira - lado direito                                                                                                                                 | Operação      | 30,43           | ○        | 0,8           |
| 30              | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                                                                                                                                  | Operação      | 38,71           | ○        | 0,5           |
| 31              | Pontear chapa traseira no tubo com uso de localizador                                                                                                                                   | Operação      | 35,71           | ○        | 0,5           |
| 32              | Pontear parte superior do conjunto - Lado Direto                                                                                                                                        | Operação      | 30,14           | ○        | 4,1           |
| 33              | Soldar conjunto parte inferior ( entre chapas e tubos diagonais) - Lado esquerdo                                                                                                        | Operação      | 159,57          | ○        | 0,8           |

|    |                                                                                                                 |              |        |   |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|---|-----|
| 34 | Pontear e soldar conjunto parte traseira - Lado direito                                                         | Operação     | 16,71  | ○ | 0,5 |
| 35 | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                                                          | Operação     | 33,43  | ○ | 0,5 |
| 36 | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo (parte inferior tubos diagonais) - 04 un. ( Lado Direto) | Operação     | 53,86  | ○ | 0,5 |
| 37 | Soldar conjunto parte traseira - Lado Esquerdo                                                                  | Operação     | 184,86 | ○ | 0,5 |
| 38 | Desmontar localizadores escamoteáveis e remover grampos - 02 un. ( parte traseira do conjunto)                  | Operação     | 23,00  | ○ | 0,5 |
| 39 | Pontear e Soldar chapas reforço parte traseira e interna do conjunto - 04 un. utilizar posicionador             | Operação     | 120,29 | ○ | 0,5 |
| 40 | Girar gabarito 90°                                                                                              | Movimentação | 36,71  | ⇒ | 6,8 |
| 41 | Soldar conjunto parte traseira - em pé                                                                          | Operação     | 455,14 | ○ | 0,4 |
| 42 | Soldar conjunto parte traseira - sentado                                                                        | Operação     | 396,00 | ○ | 0,4 |
| 43 | Soldar parte frontal do conjunto                                                                                | Operação     | 68,00  | ○ | 1,5 |
| 44 | Soldar conjunto parte inferior - utilizar banqueta                                                              | Operação     | 48,00  | ○ | 0,4 |
| 45 | Girar gabarito 180°                                                                                             | Movimentação | 25,86  | ⇒ | 4,6 |
| 46 | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                                                       | Operação     | 115,71 | ○ | 0,4 |
| 47 | Soldar conjunto parte interna lado esquerdo e direito - utilizar banqueta                                       | Operação     | 244,57 | ○ | 0,8 |
| 48 | Girar gabarito 270°                                                                                             | Movimentação | 18,00  | ⇒ | 4,6 |
| 49 | Posicionar buchas com posicionador no conjunto                                                                  | Operação     | 14,86  | ○ | 4,6 |
| 50 | Soldar buchas parte superior do conjunto                                                                        | Operação     | 93,71  | ○ | 0,4 |
| 51 | Soldar parte superior do conjunto - utilizar banqueta                                                           | Operação     | 267,43 | ○ | 0,4 |
| 52 | Soldar parte superior do conjunto - utilizar escada de 1 degrau                                                 | Operação     | 145,43 | ○ | 0,4 |
| 53 | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                                                       | Operação     | 252,14 | ○ | 4,6 |
| 54 | Girar gabarito 360°                                                                                             | Movimentação | 16,29  | ⇒ | 4,6 |
| 55 | Abriu grampos, remover pinos para liberar conjunto do dispositivo                                               | Operação     | 107,86 | ○ | 4,6 |

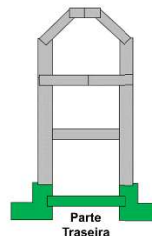


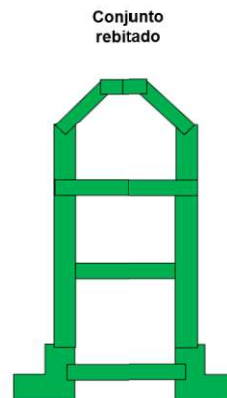
Figura 25 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 4, conjunto soldado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Na Figura 26, pode-se observar o gráfico do fluxo do processo referente ao Gabarito 5, em que todos os conjuntos soldados produzidos nos demais gabaritos são unidos pelo processo de montagem/rebitagem. Observa-se que 91,38 m são referentes à movimentação integrada à operação, enquanto 253,12 m referem-se à

| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 14               | 163,7               | 372,00          |
| Operação     | 41               | 80,6                | 4237,86         |

movimentação de peças. Nota-se que o total das distâncias percorridas no processo realizado neste gabarito é maior que os apresentados pelas atividades realizadas nos demais. O alto valor apresentado para as movimentações integradas à operação deve-se às elevadas dimensões do chassi (6,1 x 1,3 m), que fazem com que a movimentação ao redor do conjunto para se realizar as operações de rebite e montagem das peças seja grande. Quanto ao alto valor da distância de movimentação de peças, este ocorre devido ao transporte destas ser feito de forma individual e com equipamento de içamento, devido aos seus pesos e dimensões elevados.

| Nº da Atividade | Descrição da Atividade                                                                                                                                            | Classificação | Tempo médio (s) | Simbolos | Distância (m) |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| 1               | Movimentar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                       | Movimentação  | 201,14          | ⇒        | 23,2          |
| 2               | Montar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                           | Operação      | 21,29           | ○        | 1,5           |
| 3               | Movimentar e montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                             | Movimentação  | 222,43          | ⇒        | 20,2          |
| 4               | Montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                          | Operação      | 21,86           | ○        | 1,5           |
| 5               | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                            | Movimentação  | 122,00          | ⇒        | 15,3          |
| 6               | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                                | Operação      | 29,14           | ○        | 3,5           |
| 7               | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                           | Movimentação  | 133,86          | ⇒        | 15,3          |
| 8               | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                               | Operação      | 29,14           | ○        | 3,5           |
| 9               | Movimentar e encaixar apoios laterais fundidos no dispositivo de rebiteagem - 04 unds. Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo) | Movimentação  | 68,43           | ⇒        | 48,2          |
| 10              | Movimentar e encaixar reforços internos com calços, 04 un. cada parte traseira e frontal - Lado esquerdo e direito. Movimentação manual                           | Movimentação  | 58,57           | ⇒        | 52,2          |
| 11              | Movimentar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)         | Movimentação  | 42,86           | ⇒        | 5,6           |
| 12              | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)           | Operação      | 72,71           | ○        | 1,0           |
| 13              | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido traseiro - 04 un.                                                                                 | Operação      | 59,57           | ○        | 3,5           |
| 14              | Apertar parafusos do item fundido traseiro com uso de apertadeira pneumática                                                                                      | Operação      | 21,57           | ○        | 3,5           |
| 15              | Movimentar item fundido interno parte frontal - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)          | Movimentação  | 45,71           | ⇒        | 5,6           |
| 16              | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)           | Operação      | 72,71           | ○        | 1,0           |
| 17              | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido frontal - 04 un.                                                                                  | Operação      | 32,71           | ○        | 3,5           |
| 18              | Apertar parafusos do item fundido frontal com uso de apertadeira pneumática                                                                                       | Operação      | 13,14           | ○        | 10,3          |
| 19              | Movimentar e encaixar rebites e colares nos 04 fundidos laterais - 16 un. (utilizar macete para melhor encaixe)                                                   | Movimentação  | 319,00          | ⇒        | 16,9          |
| 20              | Movimentar e encaixar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 un.                                                                                         | Movimentação  | 479,86          | ⇒        | 16,9          |
| 21              | Montar e movimentar chapa traseira até conjunto para encaixar nos rebites                                                                                         | Operação      | 8,29            | ○        | 11,1          |
| 22              | Montar chapar traseira, encaixar nos rebites e travar com uso de dispositivo posicionador tipo grampos 02 un.                                                     | Operação      | 27,29           | ○        | 1,5           |
| 23              | Rebitar rebites parte traseira - 8 vezes                                                                                                                          | Operação      | 84,86           | ○        | 5,8           |
| 24              | Rebitar rebites parte frontal - 8 vezes                                                                                                                           | Operação      | 106,71          | ○        | 16,8          |
| 25              | Rebitar chapara traseira - 02 rebites                                                                                                                             | Operação      | 51,43           | ○        | 3,1           |
| 26              | Rebitar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 unds (4 locais diferentes)                                                                                | Operação      | 298,71          | ○        | 20,3          |
| 27              | Movimentar conjunto do dispositivo de rebiteagem até carro de pintura                                                                                             | Movimentação  | 247,57          | ⇒        | 33,8          |



| Tarefas      | Quantidade Total | Distância Total (m) | Tempo Total (s) |
|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Movimentação | 11               | 253,12              | 1941,43         |
| Operação     | 16               | 91,38               | 951,14          |

Figura 26 – Gráfico do fluxo do processo para o Gabarito 5, conjunto rebitado em destaque na cor verde (Autoria própria)

Ao analisar todos os gráficos do fluxo do processo, com seus valores de distância correspondentes, observa-se que há grande movimentação de peças não integradas às operações. A distância total percorrida em todas as operações, envolvendo os cinco gabaritos, é de 1080,15 m, dos quais 686,92 m, correspondem somente à movimentação de peças, constituindo ~ 64 % do valor total. Quanto ao

tempo, observa-se que de 279,6 min, 62,0 min referem-se às movimentações (22% do tempo total). Estas movimentações não agregam valor ao processo, portanto, devem ser reduzidas para melhoria da produtividade.

#### 4.2.3. Diagrama de Espaguete

Para melhor compreensão das movimentações realizadas dentro da estação de trabalho, o diagrama de espaguete foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 27. No *layout* atual, a maioria das embalagens estão dispostas nas extremidades da estação de trabalho, que possui área total de 213,84 m<sup>2</sup>. Destaca-se que as embalagens são abastecidas com as peças que serão utilizadas durante todo o processo de fabricação do chassi que ocorre nesta estação.

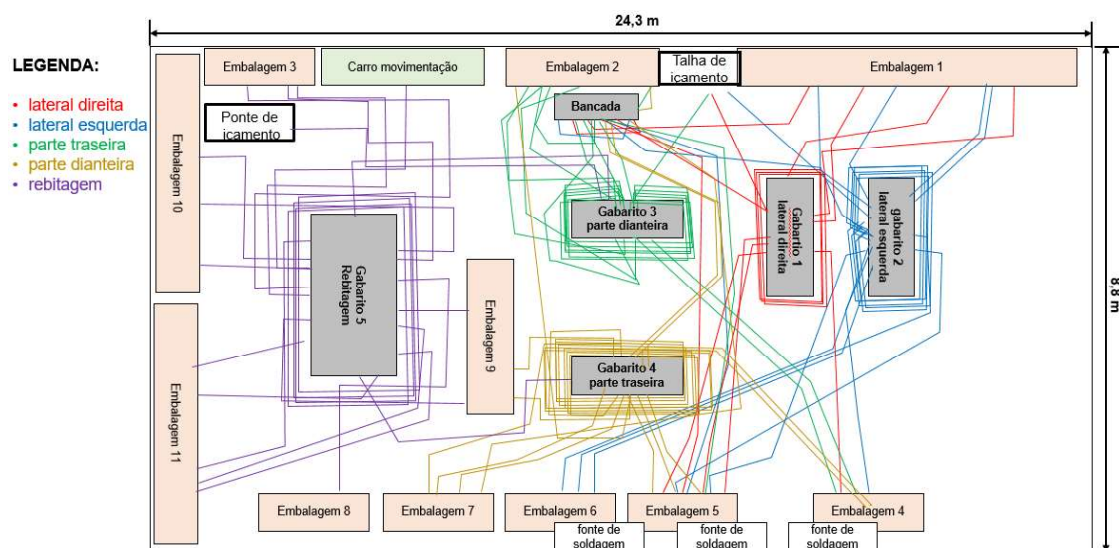


Figura 27 – Diagrama de espaguete para o processo atual (Autoria própria)

Algumas observações pontuais de movimentações que ocorrem a partir de cada gabarito podem ser elencadas, a saber:

Gabarito 1: o soldador busca peças nas embalagens 1 e 6 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; estes, por sua vez, são movimentados para o gabarito 1; para realização das demais operações, o soldador busca peças nas embalagens 1, 4, 5 e 6, à medida em que são necessárias; para finalizar, o operador movimenta-se para pegar a talha e levar o componente final deste gabarito para a bancada.

Gabarito 2: o soldador busca peças nas embalagens 1 e 6 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; estes, por sua

vez, são movimentados para o gabarito 2; neste local, peças são buscadas nas embalagens 1, 4, 5 e 6, quando estas são necessárias. Tendo em vista a quantidade de peças para realização das atividades neste gabarito, o número de deslocamentos até as embalagens é alto. Ao finalizar as atividades no gabarito, há deslocamento para utilizar a talha de içamento e movimentar o conjunto lateral esquerdo para a bancada.

Gabarito 3: o soldador busca peças nas embalagens 2 e 4 e as leva para a bancada para realização de ponteamto e soldagem de subconjuntos; além destes, ele realiza a movimentação das laterais direita e esquerda, que aguardavam na bancada, para o gabarito 3, para tanto, desloca-se para utilizar a talha; para concluir o processo, ele desloca-se até a embalagem 4 e 5, buscando peças menores.

Gabarito 4: o soldador busca peças das embalagens 2 e 5 e leva até a bancada, onde são realizados a montagem e ponteamto dos subconjuntos; após essa etapa, estes são direcionados para o gabarito 4; neste local, peças são buscadas nas embalagens 4, 5, 6, 7 e 9 quando estas são necessárias, até finalização do ciclo.

Gabarito 5: o soldador busca o subconjunto montado frontal da bancada e o subconjunto montado traseiro do gabarito 4 e leva até o gabarito 5; movimenta duas vigas da embalagem 9; transita entre as embalagens 3, 10 e 11 para pegar peças, de acordo com a sequência de operação; finaliza movimentando o chassi até o carro de pintura que se encontra na outra extremidade da estação de trabalho.

#### **4.2.4. Gráfico homem-máquina**

Para avaliação da utilização da mão de obra e da máquina (fonte de soldagem) no processo, os gráficos homem-máquina foram construídos. Destaca-se que, na estação, existem 3 fontes de soldagem, que são utilizadas em momentos distintos. Cada fonte é utilizada nas operações em gabaritos diferentes, a saber: fonte 1 é utilizada no gabarito 1 e 2; fonte 2 é utilizada no gabarito 3; fonte 3 é utilizada no gabarito 4.

Na Figura 28, observa-se o gráfico construído para o processo relacionado ao gabarito 1. Nota-se que a utilização da mão de obra é de 100 %, tendo em vista que o soldador é responsável pelas movimentações, operações e manuseio da fonte de soldagem, que é considerada como a máquina neste trabalho. Assim, enquanto a máquina está ativa, o soldador também se encontra em operação. Para este gabarito, a fonte de soldagem fica inativa durante 79 % do tempo total gasto no processo.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                                  | Homem | Máquina |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 23,43     | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                                        |       |         |
| 30,43     | Soldar porca soldável e bucha na chapa inferior da Lateral                              |       |         |
| 8,00      | Movimentar chapa inferior sub conjunto até gabarito                                     |       |         |
| 3,57      | Montar chapa inferior sub conjunto no gabarito de soldagem                              |       |         |
| 18,29     | Movimentar chapa lateral e dobrada até o gabarito                                       |       |         |
| 3,86      | Montar chapa lateral no gabarito                                                        |       |         |
| 8,57      | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                               |       |         |
| 20,71     | Movimentar buchas, chapas internas e chapa lateral até gabarito                         |       |         |
| 115,00    | Montar buchas (04), chapas internas (02), chapa lateral e superior no gabarito          |       |         |
| 38,00     | Fechar grampos do gabarito - 06 un. (parte traseira)                                    |       |         |
| 18,29     | Movimentar chapas frontais e superiores até gabarito                                    |       |         |
| 27,57     | Montar chapas frontais - 02 unds                                                        |       |         |
| 34,43     | Montar chapas superiores - 02 un. (fechar 02 grampos)                                   |       |         |
| 296,00    | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |       |         |
| 17,14     | Movimentar-se até outro lado do gabarito                                                |       |         |
| 248,00    | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |       |         |
| 60,57     | Girar gabarito - Giro 30°                                                               |       |         |
| 557,86    | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |       |         |
| 47,57     | Girar gabarito - Giro 150°                                                              |       |         |
| 229,86    | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |       |         |
| 22,14     | Girar gabarito - Giro 270°                                                              |       |         |
| 126,00    | Soldar chapa inferior (frontal e traseira)                                              |       |         |
| 25,57     | Movimentar presilhas soldáveis (02 un.) (Buscar da prateleira até gabarito)             |       |         |
| 21,00     | Montar e Soldar presilha (01 un.)                                                       |       |         |
| 17,00     | Girar gabarito - Giro 360°                                                              |       |         |
| 56,43     | Abrir grampos (9 un.), Remover Pinos guias localizadores                                |       |         |
| 61,29     | Íçar conjunto soldado do gabarito até bancada. Utilizar talha e dispositivo de içamento |       |         |
| 49,29     | Movimentar conjunto do gabarito até bancada                                             |       |         |
| 24,00     | Soldar conjunto na bancada                                                              |       |         |
| 12,57     | Girar conjunto na bancada - Manualmente                                                 |       |         |
| 141,43    | Soldar conjunto na bancada                                                              |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 710,29  |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 2363,86 | 1653,57 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 2363,86 | 2363,86 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 69,95   |

Figura 28 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 1 (Autoria própria)

Cabe destacar que as fontes de soldagem são ligadas no início do turno de trabalho e se mantêm em espera para ser utilizadas, conforme sequência das atividades. Nesse tempo em que não são acionadas, mas permanecem ligadas, as fontes consomem energia.

Na Figura 29, pode-se observar o gráfico homem-máquina para o processo relacionado ao gabarito 2. A porcentagem em que a sua respectiva fonte de soldagem fica inativa é de aproximadamente 26 % e o soldador permanece ativo durante todo o processo (100 % de utilização).

| Tempo (s) | Tarefa                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 21,57     | Movimentar chapas e porcas soldáveis até bancada                           |       |         |
| 36,14     | Soldar porcas soldáveis na chapa inferior da Lateral                       |       |         |
| 21,43     | Montar chapa inferior (sub) no gabarito de soldagem                        |       |         |
| 13,29     | Movimentar chapa lateral e chapa dobrada até gabarito                      |       |         |
| 4,71      | Montar chapa lateral no gabarito                                           |       |         |
| 7,57      | Montar chapa dobrada inferior no gabarito                                  |       |         |
| 19,80     | Movimentar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior para gabarito |       |         |
| 16,14     | Montar buchas, chapas internas, chapa lateral e superior no gabarito       |       |         |
| 8,29      | Montar chapa lateral no gabarito                                           |       |         |
| 85,00     | Montar chapas internas no gabarito (2 un.)                                 |       |         |
| 41,43     | Montar chapas dobrada superior (01 un.), fechar grampo.                    |       |         |
| 18,71     | Movimentar chapas frontais e chapas internas até o gabarito                |       |         |
| 37,43     | Montar Chapas frontais (02 un.)                                            |       |         |
| 21,00     | Montar chapas internas frontais - 02 un. (fechar 02 grampos)               |       |         |
| 20,00     | Pontear Chapas frontais (2x)                                               |       |         |
| 35,00     | Movimentar chapa superior até gabarito                                     |       |         |
| 8,14      | Montar chapa superior. Fechar Grampos                                      |       |         |
| 576,71    | Soldar ao redor do conjunto no gabarito - sem realizar giro                |       |         |
| 51,57     | Movimentar chapas frontais até gabarito                                    |       |         |
| 10,86     | Montar chapas frontais no conjunto. Reforço (2) e Chapa principal (1)      |       |         |
| 22,57     | Pontear chapas frontais no conjunto - (2x)                                 |       |         |
| 42,57     | Pontear chapas com uso de gabarito manual - (5X)                           |       |         |
| 32,71     | Pontear chapa frontal inferior - (3X)                                      |       |         |
| 359,00    | Soldar parte frontal do conjunto - sem giro                                |       |         |
| 41,29     | Movimentar chapas superiores até gabarito                                  |       |         |
| 20,29     | Montar e posicionar chapas superiores no conjunto - Pontear (4X)           |       |         |
| 30,04     | Soldar chapas superiores com furo                                          |       |         |
| 29,14     | Girar gabarito 90°                                                         |       |         |
| 517,29    | Soldar conjunto parte frontal e ao redor do conjunto                       |       |         |
| 9,43      | Posicionar grampos escamoteáveis (02 un.) para montar chapa                |       |         |
| 40,43     | Montar chapas no conjunto com gabarito manual                              |       |         |
| 31,57     | Pontear chapas no conjunto com gabarito manual e pinos localizadores       |       |         |
| 83,43     | Soldar chapas ponteadas (02 un.)                                           |       |         |
| 28,29     | Girar gabarito 180°                                                        |       |         |
| 63,57     | Movimentar buchas e chapas até gabarito                                    |       |         |
| 16,00     | Montar bucha (01) e chapas (02) localizando no gabarito                    |       |         |
| 217,86    | Soldar conjunto no gabarito (lado suporte da escada)                       |       |         |
| 245,71    | Soldar conjunto no gabarito (lado oposto suporte da escada)                |       |         |
| 21,57     | Girar gabarito 270°                                                        |       |         |
| 5,29      | Movimentar buchas (03) até gabarito                                        |       |         |
| 24,86     | Montar buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual                |       |         |
| 44,29     | Pontear buchas (03) no conjunto - utilizando gabarito manual               |       |         |
| 440,71    | Soldar conjunto no gabarito                                                |       |         |
| 48,57     | Movimentar presilhas (04) até gabarito                                     |       |         |
| 86,71     | Pontear e Soldar presilhas (04) no conjunto                                |       |         |
| 33,71     | Pontear e Soldar buchas (03 un.) no conjunto                               |       |         |
| 38,00     | Girar gabarito 360°                                                        |       |         |
| 48,14     | Soldar conjunto no gabarito                                                |       |         |
| 53,71     | Remover pinos guias (04) e grampos - com uso de macete                     |       |         |
| 123,00    | Levar conjunto do gabarito até bancada para soldagem final                 |       |         |
| 25,86     | Soldar conjunto na bancada                                                 |       |         |
| 12,14     | Girar conjunto na Bancada                                                  |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 997,52  |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 3892,56 | 2895,04 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 3892,56 | 3892,56 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 74,37   |

Figura 29 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 2 (Autoria própria)

Na Figura 30, é mostrado o gráfico homem-máquina para as atividades do gabarito 3, em que se pode observar que há 37 % de inatividade da fonte de soldagem, em que esta fica ligada, mas sem ser acionada para realizar o processo. O soldador participa efetivamente de todas as etapas, com 100 % de atividade.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                                                      | Homem | Máquina |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 61,71     | Movimentar e armazenar sub conjuntos na bancada                                                             |       |         |
| 224,14    | Soldar subconjuntos na bancada                                                                              |       |         |
| 65,86     | Movimentar lateral direita menor da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                  |       |         |
| 49,57     | Movimentar lateral esquerda maior da bancada até gabarito (Talha e Dispositivo de içamento)                 |       |         |
| 58,57     | Montar chapa frontal no gabarito na parte frontal (dobrada) - Travar 03 grampos, encaixar chapa espaçadora. |       |         |
| 89,29     | Montar suportes do motor (04 un.)- Fechar 04 grampos - Utilizar escada 1 degrau                             |       |         |
| 227,57    | Montar chapas traseiras ( 6 chapas) - Com uso de grampos (4) e pinos guia (04)                              |       |         |
| 68,00     | Montar chapa traseira central dobrada, fixação por fuso e aperto com chave catraca                          |       |         |
| 35,86     | Realizar aperto de fusos superiores contra laterais                                                         |       |         |
| 25,43     | Montar chapas externas de içamento (02 un.)                                                                 |       |         |
| 39,14     | Montar chapas externas dobradas com furos e porcas (02 un.)                                                 |       |         |
| 43,86     | Pontear chapa externa lateral (Lado Esquerdo)                                                               |       |         |
| 152,86    | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado Esquerdo)                               |       |         |
| 65,29     | Desmontar grampos, pinos de fixação chapas traseiras (ambos os lados)                                       |       |         |
| 192,71    | Pontear e Soldar parte interna conjunto - Uso escada 1 degrau (Lado direito)                                |       |         |
| 34,71     | Pontear chapa externa lateral (Lado Direito)                                                                |       |         |
| 22,71     | Girar gabarito 90°                                                                                          |       |         |
| 119,14    | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Direito)                                   |       |         |
| 216,71    | Soldar conjunto -Uso banquetta - parte inferior (Lado Direito)                                              |       |         |
| 161,86    | Soldar conjunto - Uso escada com 1 degrau - parte superior (Lado Esquerdo)                                  |       |         |
| 23,57     | Girar gabarito 180°                                                                                         |       |         |
| 377,00    | Soldar parte traseira do conjunto (lado direito e Lado esquerdo)                                            |       |         |
| 18,14     | Girar gabarito 270°                                                                                         |       |         |
| 372,43    | Soldar parte superior e interna do conjunto - Utilizando escada de um degrau                                |       |         |
| 19,71     | Girar gabarito 360°                                                                                         |       |         |
| 91,71     | Desmontar grampos, pinos de fixação, fusos de fixação                                                       |       |         |
| 83,71     | Içar conjunto do dispositivo de soldagem até o piso - Utilizando Talha e linga com ganchos até o piso.      |       |         |
| 86,14     | Girar conjunto no piso com uso de linga e talha                                                             |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 1259,71 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 3027,43 | 1895,43 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 3027,43 | 3155,14 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 62,60   |

Figura 30 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 3 (Autoria própria)

O gráfico homem-máquina para o gabarito 4 é mostrado na Fig. 31. Neste caso, a máquina fica inativa durante 21,34 % do tempo total das atividades. O soldador, ao realizar todas as atividades, possui utilização de 100 %.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 29,57     | Movimentar chapas até bancada para soldagem dos subconjuntos               |       |         |
| 85,29     | Pontear e soldar sub conjuntos na bancada                                  |       |         |
| 33,57     | Reposicionar escamoteáveis no dispositivo travando 02 grampos - 02 un.     |       |         |
| 14,43     | Movimentar chapa dobrada até gabarito de soldagem                          |       |         |
| 7,29      | Montar chapa dobrada no dispositivo de soldagem - subconjunto              |       |         |
| 22,14     | Montar chapas laterais no dispositivo - 02 un.                             |       |         |
| 16,43     | Movimentar 2 chapas até o dispositivo (reforços laterais - chapas menores) |       |         |
| 22,57     | Movimentar buchas até dispositivo - 04 un.                                 |       |         |
| 51,57     | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador -     |       |         |
| 60,57     | Montar bucha, chapas laterais com uso de grampo com pino localizador       |       |         |
| 31,57     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 41,00     | Montar chapas dobradas (02 un.) - Lado Esquerdo e Direito                  |       |         |
| 47,00     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 29,43     | Montar chapas dobradas (02 un.) com uso de 04 grampos                      |       |         |
| 13,71     | Movimentar chapas dobradas da embalagem até dispositivo - 02 un.           |       |         |
| 43,14     | Montar chapas dobradas internas - Lado Esquerdo e Direito.                 |       |         |
| 45,00     | Movimentar e montar tubos (superior e inferior) no conjunto.               |       |         |
| 14,57     | Movimentar chapas inferiores e buchas até dispositivos                     |       |         |
| 45,43     | Montar chapas inferiores e buchas até dispositivos                         |       |         |
| 40,29     | Movimentar tubos diagonais até gabarito                                    |       |         |
| 8,14      | Montar tubos diagonais até o conjunto - 02 un.                             |       |         |
| 55,29     | Posicionar chapas reforços - 04 un.                                        |       |         |
| 24,86     | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo                     |       |         |
| 25,71     | Pontear conjunto parte superior - Lado esquerdo                            |       |         |
| 147,71    | Soldar conjunto parte superior - Lado esquerdo                             |       |         |
| 12,71     | Desmontar e remover grampos - lado esquerdo (04 un.)                       |       |         |
| 228,86    | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais)            |       |         |
| 379,57    | Soldar conjunto parte superior entre chapas e tubos diagonais)             |       |         |
| 30,43     | Pontear e soldar conjunto parte traseira - lado direito                    |       |         |
| 38,71     | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                     |       |         |
| 35,71     | Pontear chapa traseira no tubo com uso de localizador                      |       |         |
| 30,14     | Pontear parte superior do conjunto - Lado Direito                          |       |         |
| 159,57    | Soldar conjunto parte inferior (entre chapas e tubos diagonais)            |       |         |
| 16,71     | Pontear e soldar conjunto parte traseira - Lado direito                    |       |         |
| 33,43     | Desmontar grampos com pino guia localizadores - 04 un.                     |       |         |
| 53,86     | Pontear chapas reforço com uso de localizador e grampo                     |       |         |
| 184,86    | Soldar conjunto parte traseira - Lado Esquerdo                             |       |         |
| 23,00     | Desmontar localizadores escamoteáveis e remover grampos                    |       |         |
| 120,29    | Pontear e Soldar chapas reforço parte traseira e interna do conjunto       |       |         |
| 36,71     | Girar gabarito 90°                                                         |       |         |
| 455,14    | Soldar conjunto parte traseira - em pé                                     |       |         |
| 396,00    | Soldar conjunto parte traseira - sentado                                   |       |         |
| 68,00     | Soldar parte frontal do conjunto                                           |       |         |
| 48,00     | Soldar conjunto parte inferior - utilizar banquetas                        |       |         |
| 25,86     | Girar gabarito 180°                                                        |       |         |
| 115,71    | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                  |       |         |
| 244,57    | Soldar conjunto parte interna lado esquerdo e direito - utilizar banquetas |       |         |
| 18,00     | Girar gabarito 270°                                                        |       |         |
| 14,86     | Posicionar buchas com posicionador no conjunto                             |       |         |
| 93,71     | Soldar buchas parte superior do conjunto                                   |       |         |
| 267,43    | Soldar parte superior do conjunto - utilizar banquetas                     |       |         |
| 145,43    | Soldar parte superior do conjunto - utilizar escada de 1 degrau            |       |         |
| 252,14    | Soldar parte superior do conjunto - em pé                                  |       |         |
| 16,29     | Girar gabarito 360°                                                        |       |         |
| 107,86    | Abrir grampos, remover pinos para liberar conjunto do dispositivo          |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 1236,00 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 4609,86 | 3624,57 |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 4609,86 | 4860,57 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 78,63   |

Figura 31 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 4

Na Figura 32, tem-se o gráfico homem-máquina para o gabarito 5, em que são realizadas as montagens finais do chassi. É importante destacar que nenhuma fonte de soldagem é utilizada neste processo. Apesar disso, elas ficam ligadas durante todo o tempo de operação.

| Tempo (s) | Tarefa                                                                                                                                                     | Homem | Máquina |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| 201,14    | Movimentar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                |       |         |
| 21,29     | Montar conjunto frontal no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                    |       |         |
| 222,43    | Movimentar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                               |       |         |
| 21,86     | Montar conjunto traseiro no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle                                                   |       |         |
| 122,00    | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                     |       |         |
| 29,14     | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                         |       |         |
| 133,86    | Movimentar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado esquerdo)                                    |       |         |
| 29,14     | Montar viga lateral no dispositivo de rebiteagem - Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito)                                         |       |         |
| 68,43     | Movimentar apoios laterais fundidos até o dispositivo de rebiteagem - 04 unds. Utilizar correntes, ponte de içamento e controle (Lado direito e esquerdo)  |       |         |
| 58,57     | Movimentar reforços internos com calços, 04 un. cada parte traseira e frontal - Lado esquerdo e direito. Movimentação manual                               |       |         |
| 42,86     | Movimentar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo) |       |         |
| 72,71     | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)   |       |         |
| 59,57     | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido traseiro - 04 un.                                                                          |       |         |
| 21,57     | Apertar parafusos do item fundido traseiro com uso de apertadeira pneumática                                                                               |       |         |
| 45,71     | Movimentar item fundido interno parte frontal - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)  |       |         |
| 72,71     | Encaixar item fundido interno parte traseira - 01 un. Utilizar dispositivo especial de içamento, ponte de içamento e controle ( Lado direito e esquerdo)   |       |         |
| 32,71     | Encaixar e iniciar aperto dos parafusos de fixação item fundido frontal - 04 un.                                                                           |       |         |
| 13,14     | Apertar parafusos do item fundido frontal com uso de apertadeira pneumática                                                                                |       |         |
| 319,00    | Movimentar rebites e colares nos 04 fundidos laterais - 16 un. (utilizar macete para melhor encaixe)                                                       |       |         |
| 479,86    | Movimentar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 un.                                                                                             |       |         |
| 8,29      | Montar chapa traseira até conjunto para encaixar nos rebites                                                                                               |       |         |
| 27,29     | Montar chapa traseira, encaixar nos rebites e travar com uso de dispositivo posicionador tipo grampos 02 un.                                               |       |         |
| 84,86     | Rebitar rebites parte traseira - 8 vezes                                                                                                                   |       |         |
| 106,71    | Rebitar rebites parte frontal - 8 vezes                                                                                                                    |       |         |
| 51,43     | Rebitar chapara traseira - 02 rebites                                                                                                                      |       |         |
| 298,71    | Rebitar rebites e colares nos 02 fundidos internos - 20 unds (4 locais diferentes)                                                                         |       |         |
| 247,57    | Movimentar conjunto do dispositivo de rebiteagem até carro de pintura                                                                                      |       |         |

|                              | Homem   | Máquina |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>Tempo parado (s)</b>      | 0,00    | 2892,57 |
| <b>Tempo de Trabalho (s)</b> | 2892,57 | 0,00    |
| <b>Tempo Total (s)</b>       | 2892,57 | 2892,57 |
| <b>% Utilização</b>          | 100     | 0,00    |

Figura 32 – Gráfico homem-máquina para o gabarito 5 (Autoria própria)

Conforme observações realizadas por meio dos gráficos homem-máquina, tem-se que as fontes de soldagem ficam ligadas, consumindo energia, durante um longo período, sem ser utilizadas. Para sua análise detalhada, um gráfico com o tempo total de inatividade de cada fonte de soldagem, em um ciclo de trabalho, foi construído, conforme mostrado na Fig. 33. nota-se que, considerando um ciclo de trabalho de 300 minutos, cada fonte de soldagem permanece ligada por mais de 200 minutos sem utilização.

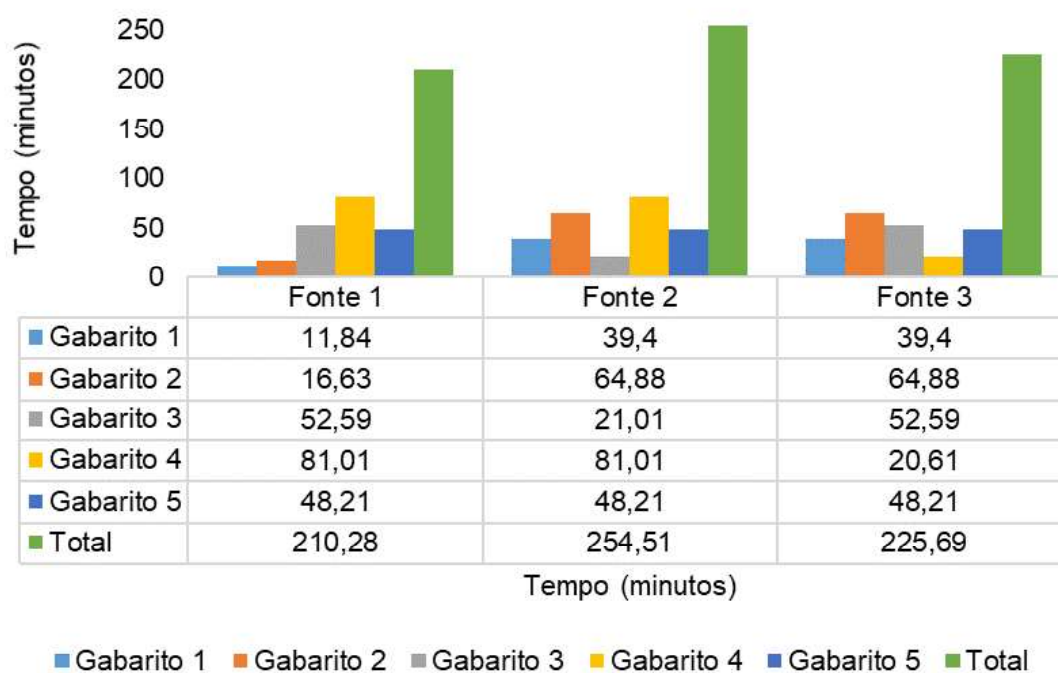


Figura 33 – Tempo total de inatividade das fontes de soldagem durante um ciclo de trabalho (Autoria própria)

### 4.3. Análise de atividades necessárias não realizadas

Ao analisar as sete amostras coletadas e confrontar as atividades desenvolvidas com a definição de processo pela engenharia de fábrica, constatou-se que algumas atividades necessárias para manutenção do padrão de qualidade e segurança exigido pela empresa não estão sendo executadas, a saber:

Aplicação de antirrespingo, na parte traseira (gabarito 4), antes de iniciar o processo de soldagem (tempo padrão: 2,01 min);

No gabarito 5, na rebitagem, não foram evidenciadas a inspeção visual e a gravação de letras (sinete) para controle de rastreabilidade da fabricação por turno de trabalho (tempo padrão: 1,01 min);

No gabarito 5, em uma amostra coletada, observou-se que algumas peças acima de 16 kg foram movimentadas manualmente e, conforme política de segurança e ergonomia, estas movimentações devem ser realizadas com o uso de dispositivo de içamento e movimentação.

### 4.4. Estudo de Tempos

Primeiramente, calculou-se o tempo normal, considerando o ritmo do operador, que, no caso avaliado adotou-se o valor de 90%, pois constatou-se que o colaborador realizava as tarefas de forma consistente, porém com velocidade abaixo do ritmo normal. Para velocidade de operação normal atribui-se valor de 100% (Peinado e Graeml, 2007). Na Tab. 5, é mostrado o tempo normal calculado para a estação de trabalho, em que o valor é de 15.096,72 segundos (251,61 minutos).

Tabela 5 – Tempo normal para a estação de trabalho analisada

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| <b>Tempo Selecionado (s)</b> | 16774,13 |
| <b>Ritmo Percentual (%)</b>  | 90%      |
| <b>Tempo Normal (s)</b>      | 15096,72 |

Fonte: Autoria própria

A partir desse valor encontrado, pode-se calcular o tempo padrão, que deve considerar tolerâncias para necessidades pessoais, fadiga e esperas etc. Na empresa, há os seguintes fatores considerados:

*Tolerância para atraso:* refere-se a tempos não mensuráveis ou interrupções não diretamente relacionadas com a produção, como por exemplo: contatar supervisor, realizar limpeza e organização (5S), vestir EPIs, limpar a área de trabalho

etc. Na empresa, esse fator é de 1,04, assim, deve-se multiplicar o tempo normal por esse valor.

*Tolerância para fadiga:* refere-se ao tempo disponibilizado para necessidades pessoais, descanso ou recuperação do operador. Na empresa, esse fator é de 1,15, assim, deve-se multiplicar o tempo normal por esse valor.

Assim, considerando o tempo normal e estes dois valores, o tempo padrão atual pode ser calculado conforme mostrado na Tab.6

Tabela 6 – Tempo padrão para o processo desenvolvido na estação analisada

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| <b>Tempo Normal (s)</b>   | 150,9672 |
| <b>Tolerância Atraso</b>  | 1,04     |
| <b>Tolerância Fadiga</b>  | 1,15     |
| <b>Tempo Padrão (s)</b>   | 18055,67 |
| <b>Tempo Padrão (min)</b> | 300,93   |

Fonte: Autoria própria

Observa-se que o tempo padrão para a estação de trabalho é de 300,93 min e o tempo destinado para tolerância para atrasos e fadigas, neste ciclo avaliado, é de 49 minutos o que corresponde a 16%. De acordo com Groover (2013), para atividades leves e médias é tipicamente utilizado o valor de 5 % e, para atividades pesadas, esse valor pode chegar até 20%.

#### 4.6. Possíveis soluções

Ao realizar análises dos dados obtidos a partir da aplicação de todas as ferramentas, algumas constatações foram feitas e melhorias propostas.

##### 4.6.1 Proposta de novo *Layout*

Ao observar as movimentações de maneira visual, pelo diagrama de espaguete, observou-se que há diversos pontos de cruzamento e longas distâncias percorridas pelo soldador. Assim, análises no *layout* foram feitas de maneira a identificar melhorias neste, objetivando a redução do deslocamento. As sugestões de alterações foram discutidas com os engenheiros responsáveis pela estação de trabalho e validadas por estes, quanto às normas de espaço necessárias para realização das atividades. As sugestões de alteração, respeitando as restrições do processo são:

- Posicionamento das embalagens das peças próximo ao gabarito onde serão utilizadas;
- Posicionamento dos gabaritos de forma sequencial para tornar o fluxo mais claro e reduzir as distâncias entre estes.

Na Figura 34, pode-se observar o projeto do *layout* proposto, considerando as observações supracitadas. É importante destacar que essa proposta possibilita a redução da área da estação de trabalho em 24,64 m<sup>2</sup>, conforme mostrado na Fig. 35. Na empresa, o valor do m<sup>2</sup> é avaliado em R\$ 5.800,00. Considerando essa proposta de *layout*, tem-se uma redução no valor de investimento de espaço de R\$ 142.912,00. Assim, além de possibilitar redução na movimentação, essa readequação pode reduzir investimento em espaço.

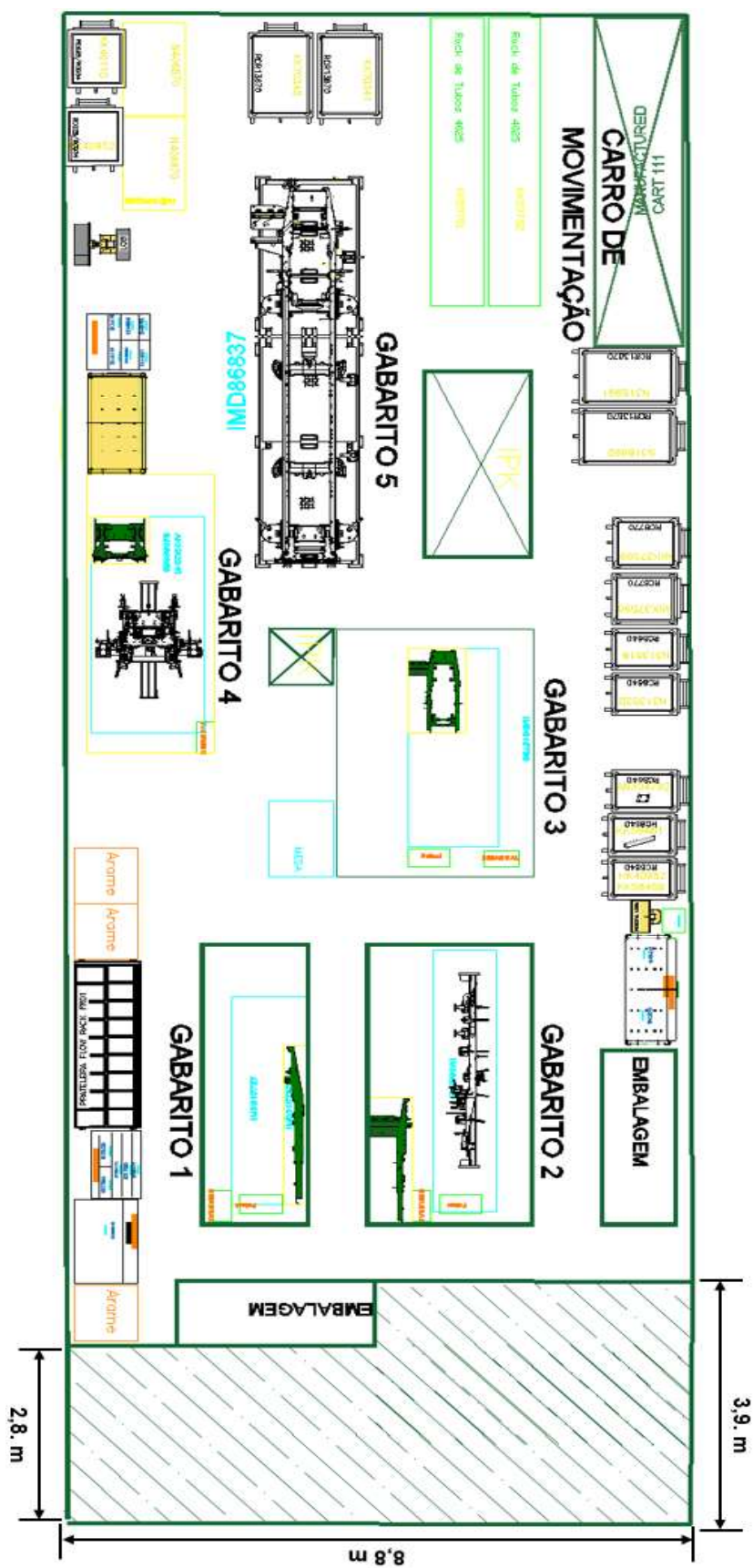


Figura 34 – Projeto do *Layout* proposto

O espaço proporcionado pela adequação do layout pode ser empregado para outras atividades da organização. Uma necessidade atual é a criação de um local para qualificação de soldadores, que é feita de maneira não estruturada. Assim, pode-se organizar o espaço criado de maneira a possibilitar a realização de treinamento de soldadores.

Além disso, esse espaço pode ser utilizado para realizar treinamentos de reciclagem, tendo em vista a necessidade identificada ao constatar que algumas atividades necessárias não estão sendo executadas e algumas não estão de acordo com as políticas de segurança da empresa, conforme exposto na sessão 4.3.

#### **4.6.2 Proposta de Novo Fluxo de Processo**

Uma constatação importante realizada nas análises dos resultados no emprego das ferramentas é que o soldador fica ativo em todas as atividades, sendo responsável pelas movimentações, montagens, soldagens etc. Destaca-se que este profissional é qualificado para operação de soldagem, com nível técnico superior (em uma escala de 1 a 4, este é soldador nível 4). O salário aumenta conforme o nível. Assim, tem-se que há a utilização de mão de obra qualificada para realizar operações de menor complexidade, que poderiam ser realizadas por um soldador nível 1. Portanto, sugere-se que seja feita a divisão das atividades de forma que o soldador de maior qualificação (nível 4) opere, em sua maioria, atividades que demandem mão de obra mais qualificada.

Desta forma, o presente trabalho propõe uma divisão de tarefas conforme é mostrado na Fig. 35. Nota-se que há a sugestão da inserção de mais um operador para desenvolvimento das atividades nesta estação de trabalho. Este, soldador de nível 1, seria responsável por atividades menos complexas, como movimentação, montagem e rebitagem.

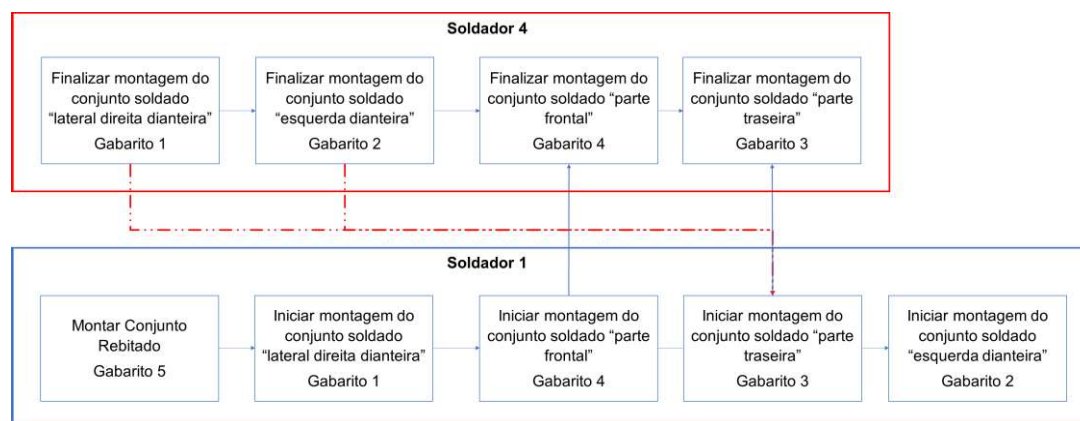


Figura 35 – Fluxograma proposto, considerando dois soldadores, um de nível 1 e um de nível 4 (Autoria própria)

O fluxograma proposto foi idealizado considerando um cenário com as seguintes características:

- As atividades do gabarito 3 e 4 deverão ser concluídas, no final de cada turno, de forma a possibilitar a montagem do chassi, no gabarito 5 pelo soldador 1, no início do próximo turno.
- As atividades iniciais realizadas nos gabaritos 1 e 2 deverão ser concluídas pelo soldador 1 em cada ciclo de trabalho, de forma a possibilitar que, no próximo ciclo, o soldador 4 execute as suas atividades nestes gabaritos no início do turno de trabalho.

Assim, observa-se que, no fluxograma proposto, o soldador de nível 1 (Soldador 1) irá realizar as atividades menos complexas, que se concentram, em sua maioria, no início do processo realizado em cada gabarito. Além disso, destaca-se que, no gabarito 5, todas as atividades serão desenvolvidas pelo soldador 1, pois elas correspondem a atividades de movimentação, montagens e rebites, não sendo necessária a mão de obra especializada no nível 4 para serem desenvolvidas.

Os fluxogramas das atividades a serem desenvolvidas por cada operador (soldador 1 e 4) em cada gabarito, podem ser observados nas Figuras 36 até 44.

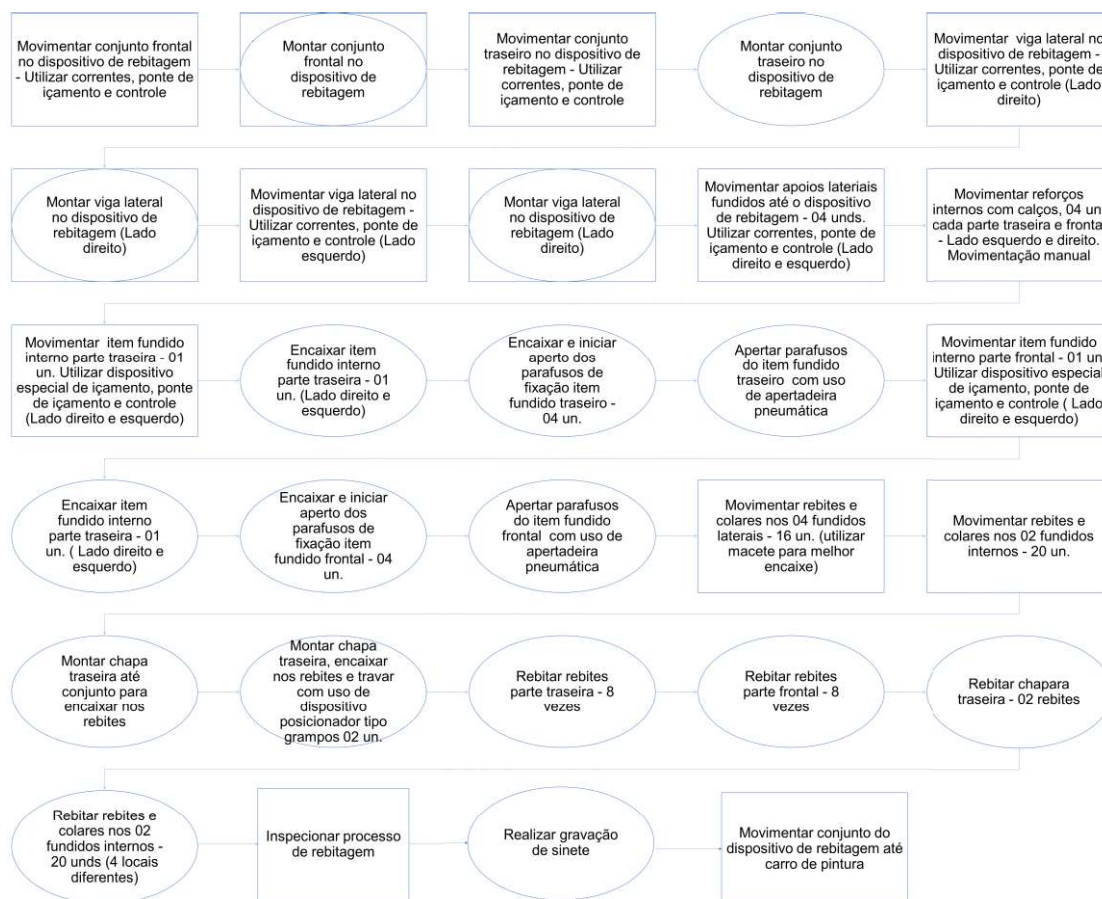


Figura 36 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 5, pelo Soldador 1 (Autoria própria)



Figura 37 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

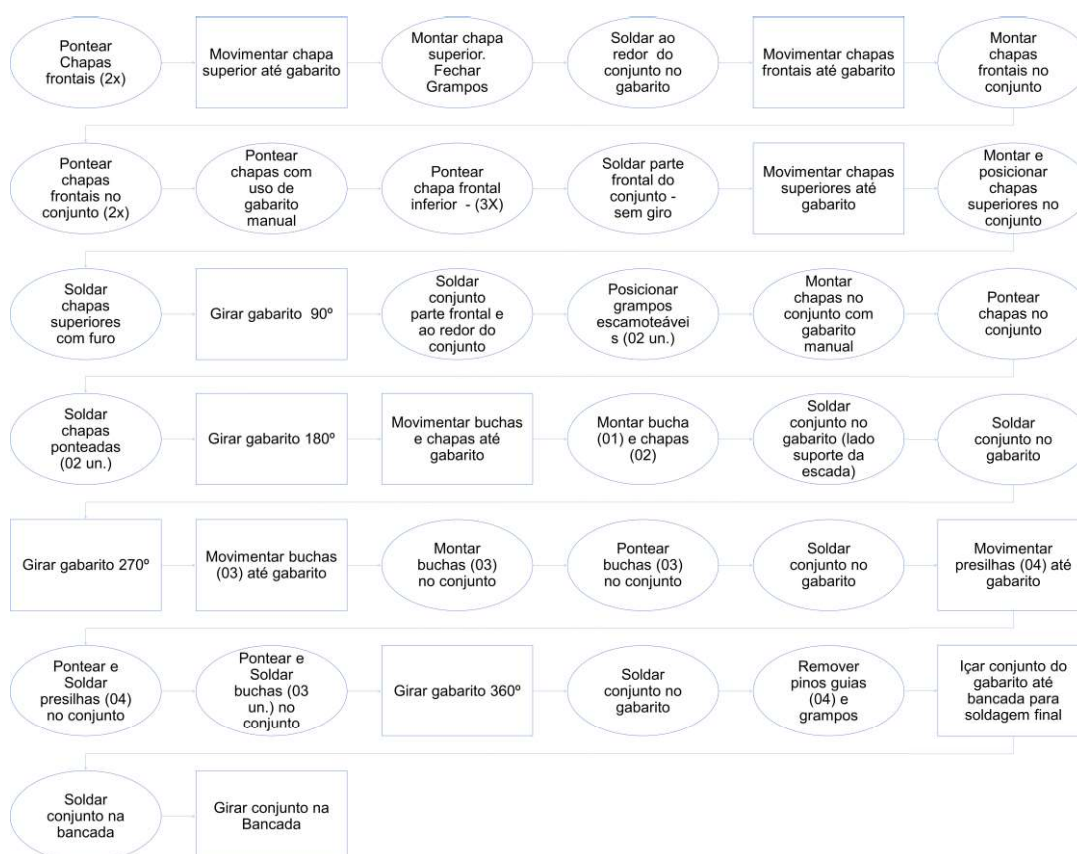


Figura 38 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

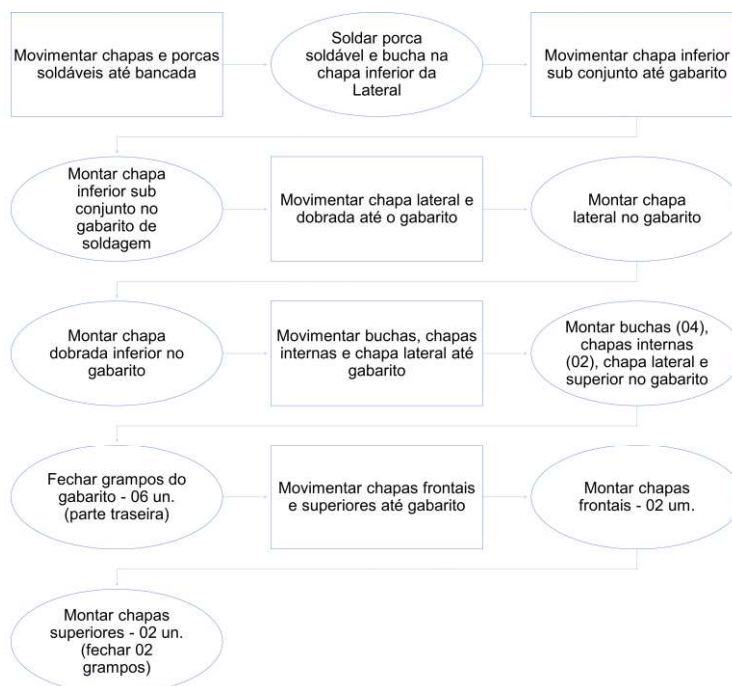


Figura 39 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 1, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

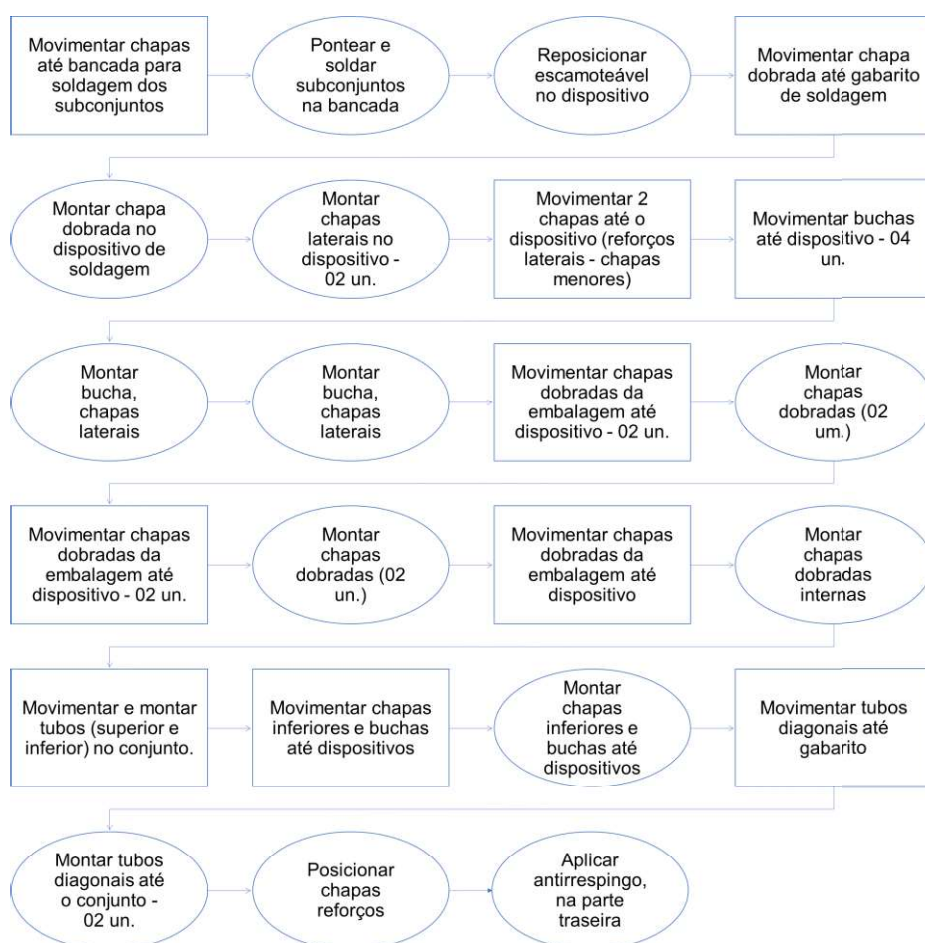


Figura 40 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 1 (Autoria própria)



Figura 41 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 4, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

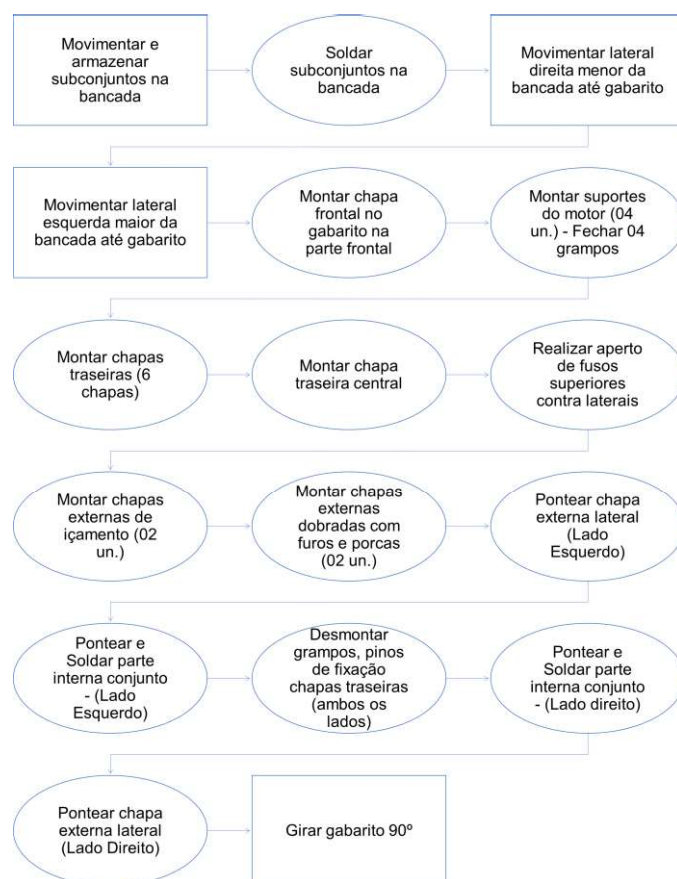


Figura 42 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

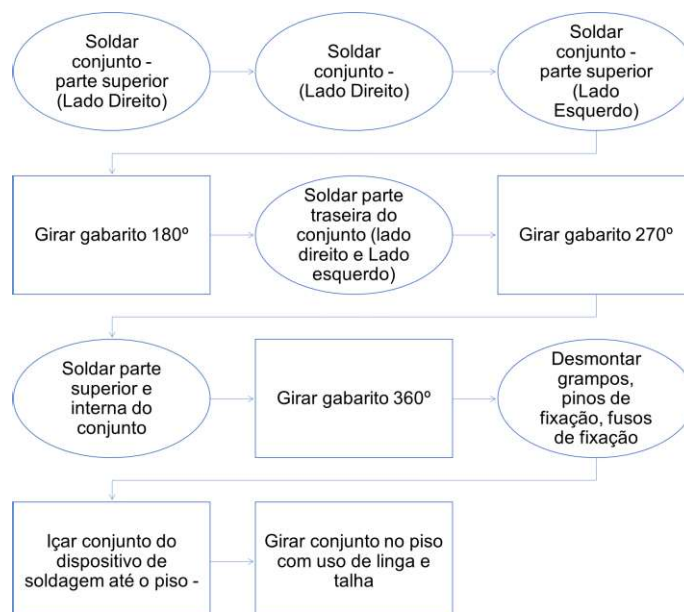


Figura 43 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 3, pelo Soldador 4 (Autoria própria)

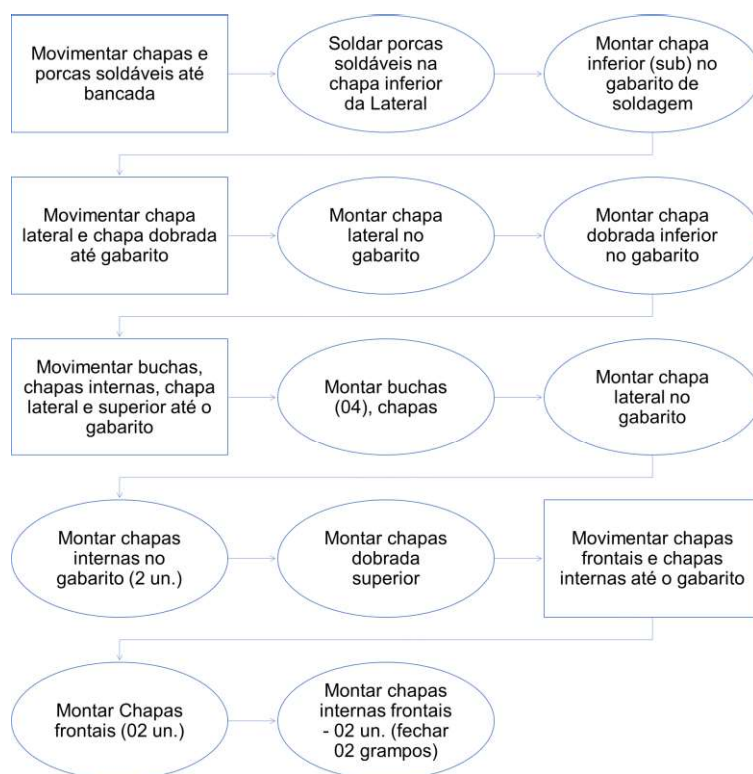


Figura 44 – Atividades a serem realizadas no Gabarito 2, pelo Soldador 1 (Autoria própria)

Portanto, neste ciclo avaliado, o soldador de nível 4 operaria durante 180 min, no lugar de 279 min, conforme pode ser observado no gráfico da Fig. 45. Assim, ele poderia desenvolver atividades mais complexas em outras estações de trabalho, porém não estando no escopo deste estudo. O soldador de nível 1 operaria durante 99,2 min, nesta estação de trabalho.

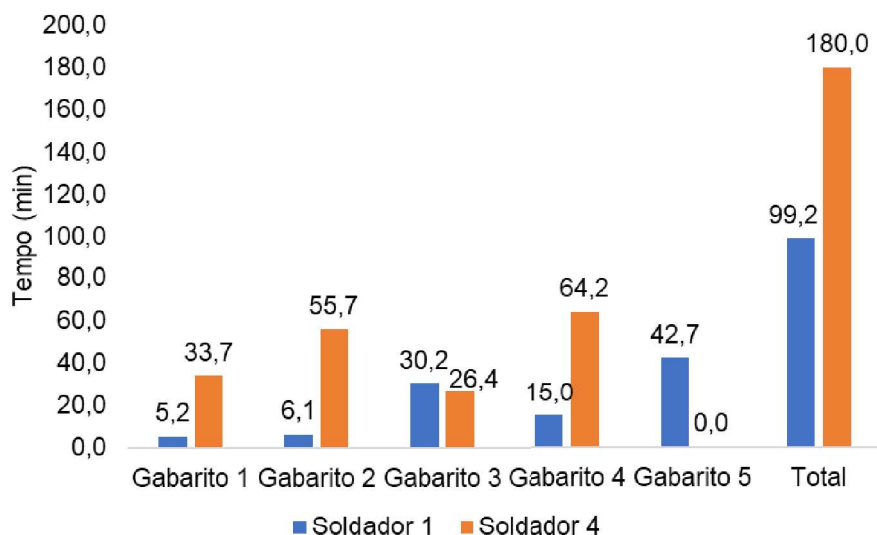


Figura 45 – Gráfico do tempo de processo em cada gabarito para cada soldador no cenário proposto (Autoria própria)

Quanto à distância de deslocamento com o novo cenário, tem-se uma redução de 121,14 m a serem percorridos, que correspondem a 11 % do valor atual, conforme pode ser observado na Fig. 46. Nota-se que houve uma redução na distância de movimentação de peças, mas um aumento no deslocamento durante as operações.

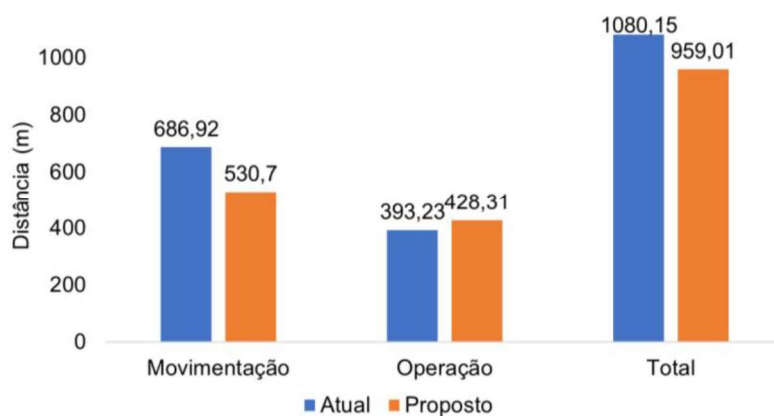


Figura 46 – Gráfico da distância a ser percorrida pelos soldadores no cenário proposto (Autoria própria)

Cabe destacar que, além de reduzir o tempo de processo e deslocamento da estação de trabalho investigada em aproximadamente 99 minutos e 121,14 metros, respectivamente, este fluxograma proposto permite a redução do custo da mão de obra. Considerou-se o salário médio do soldador no Brasil, de acordo com seu nível, sendo que o Soldador menos experiente (denominado soldador 1), recebe aproximadamente R\$ 19,00/h trabalhada e o Soldador mais experiente (denominado soldador) soldador recebe aproximadamente R\$ 11,00/h. Considerando estes valores

e os tempos em que cada um realizará atividades nesta estação de trabalho e que são produzidos 402 chassis por ano, poderá ocorrer uma redução anual de 9%, aproximadamente R\$ 3184,89 com mão de obra, nesta estação de trabalho, conforme sumarizado na Tab. 7. Este ganho pode ser maximizado ao passo que, com dois soldadores, ambos podem ser aproveitados em outras estações de trabalho, estudo este que não compreende o objetivo deste trabalho.

Tabela 7 – Custos com mão de obra para o cenário atual e proposto

| Descrição                                     | Valor (R\$) |
|-----------------------------------------------|-------------|
| Valor da mão de obra/Soldador 1               | 11,00       |
| Valor da mão de obra/Soldador 4               | 19,00       |
| Valor da mão de obra atual para a estação/ano | 35516,70    |
| Valor proposto da mão de obra para a estação  | 32331,81    |
| Diferença entre valor proposto e atual        | 3184,89     |

Fonte: Autoria própria

Cabe considerar que, na organização, existem 20 estações de trabalho com operações semelhantes às analisadas neste estudo. Em todas elas, há atividades que podem ser divididas para operadores de níveis distintos, possibilitando a redução no tempo de processo e nos custos de mão de obra, conforme exemplo desta estação investigada.

Destaca-se que, para execução do fluxograma de atividades proposto, em que há atividades realizadas de forma paralela (atualmente, todas são realizadas em série), deve-se respeitar as restrições do processo. Para esta análise, um gráfico de Gantt foi construído, conforme pode ser observado na Fig. 47. Observa-se que o soldador 4 finaliza suas atividades em 180,0 min. Já o soldador 1 finalizará antes, em 125,7 min, e ficará 26,5 min ocioso, aguardando a finalização das atividades do gabarito 2 para realizar as do gabarito 3. Apesar do tempo ocioso gerado para o soldador 1, os custos com mão de obra e o tempo de processo foram reduzidos.

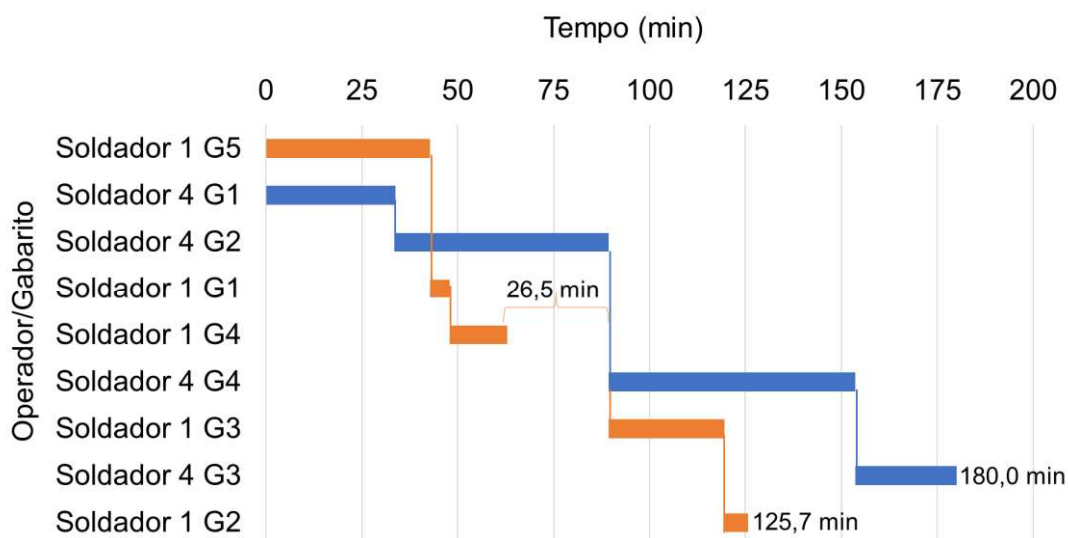


Figura 47 – Gráfico de Gantt para as atividades executadas nos 5 gabaritos, pelos dois soldadores (Autoria própria)

Para o tempo ocioso gerado, sugere-se que o soldador 1, desloque-se para a próxima estação de trabalho (distância de 5 m), para iniciar as atividades desta e depois retorne para a estação analisada. Ao finalizar o processo nesta estação, o soldador 1, pode voltar para a próxima estação e dá prosseguimento as suas atividades. Quando o soldador 4 finalizar as atividades do último gabarito, ele poderá se deslocar para a próxima estação. Outra sugestão é que esse tempo seja utilizado para realização de treinamentos de forma a desenvolver as habilidades do soldador nível 1 para que este cresça e atinja níveis superiores.

#### 4.4.2 Análise do período de inatividade das fontes

Durante as análises do gráfico homem-máquina, observou-se que a fonte de soldagem fica ligada durante todo o processo realizado na estação de trabalho, mesmo quando esta está inativa. Isso contribui para aumento dos custos de produção. Portanto, ao reduzir o tempo de processo, o período relativo à inatividade das fontes de soldagem também será reduzido, conforme mostrado nos gráficos das figuras 48 e 49.



Figura 48 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário atual (Autoria própria)



Figura 49 – Gráfico de Gantt para a utilização das fontes de soldagem cenário proposto (Autoria própria)

Nota-se que, de acordo com o cenário proposto em que há dois colaboradores trabalhando em paralelo, as fontes também serão utilizadas desta maneira. Conforme sequenciamento de atividades redefinidas, a fonte de soldagem 1 é a primeira a ser ativada durante 76,50 min. Após esse período, a fonte fica inativa até finalização do processo da estação. A partir do tempo de 47,91 min, a fonte 3 é utilizada durante 60,16 min. Após esse período, até finalizar o processo na estação, a fonte fica inativa. No instante de 89,40 min a fonte 2 é ativada. As atividades iniciais demandam 10,80 min e, após esse período, a fonte fica inativa aguardando o início das próximas operações, que ocorrerá no momento de 153,60 min. A fonte ficará ativa durante 20,78 min e inativa em 5,62 min. Portanto, tem-se que o tempo total de inatividade para a

fonte 1, no cenário proposto, é de 76,50 min, para a fonte 2 de 119,84 min e para a fonte 3 de 148,42 min.

#### 4.4.4 Diagrama de espaguete para o cenário proposto

Com a proposta de alteração de layout e considerando o novo fluxo de atividades, o diagrama de espaguete foi construído, conforme mostrado na Fig. 50. Nota-se que houve redução na maioria das distâncias percorridas, corroborando com os valores mostrados na sessão 4.4.2.

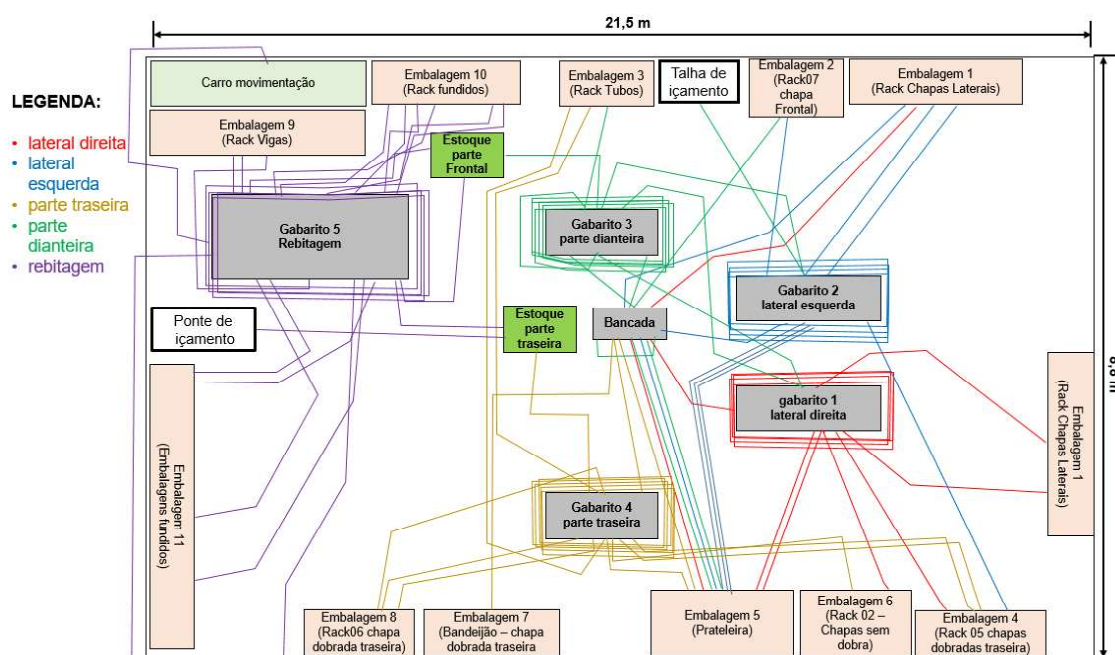


Figura 50 – Diagrama de espaguete com layout proposto (Autoria própria)

#### 4.4.5 Estimativa do tempo padrão para cenário proposto

A partir das mudanças propostas no *layout* e fluxogramas de processo, o tempo padrão para o cenário proposto foi estimado. Para tanto, considerou as distâncias com adequação do *layout*, as atividades acrescentadas e que não estavam sendo executadas pelo soldador e o tempo estimado para as novas movimentações. Este último foi estimado considerando a velocidade calculada para cada atividade desenvolvida. Na Tabela 8, pode-se observar o tempo padrão estimado. Como os dois soldadores farão operações distintas, estimou-se essa variável para o processo desenvolvido por cada um de forma separada.

Tabela 8 – Tempo padrão estimado para o cenário proposto

|                                | <b>Soldador 1</b> | <b>Soldador 4</b> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Tempo Selecionado (min)</b> | 125,69            | 180,04            |
| <b>Ritmo Percentual (%)</b>    | 90%               | 90%               |
| <b>Tempo Normal (min)</b>      | 113,12            | 162,04            |
| <b>Tolerância Atraso</b>       | 1,04              | 1,04              |
| <b>Tolerância Fadiga</b>       | 1,15              | 1,15              |
| <b>Tempo Padrão (min)</b>      | 135,29            | 193,80            |

Fonte: Autoria própria

Nota-se que o tempo padrão maior para a estação de trabalho, relativo às atividades realizadas pelo soldador 4, é de 193,80 min. O tempo padrão atual para essa estação de trabalho é de 300,93 min. Portanto, com as mudanças sugeridas, estima-se uma redução do tempo de ciclo para esta estação de trabalho de 35 %.

Nas tabelas 9 e 10, pode-se observar os resultados obtidos no estudo por meio da análise de cada ferramenta empregada. Nota-se que esse resultado pode influenciar diretamente na redução dos custos com mão de obra e área útil necessária para o trabalho. Assim, poderão contribuir com a melhoria da produtividade da mão de obra e capital investido na estação E13 em análise e nas demais 19 estações que constituem o processo de soldagem, que possuem potencial da aplicação das ferramentas e melhorias para estudos futuros.

Tabela 9 – Sumário dos resultados obtidos no estudo

| <b>Ferramenta Aplicada</b>    | <b>Observação</b>                                                                     | <b>Proposta</b>                                                                                                       | <b>Resultado esperado</b>                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Fluxograma do Processo        | Atividades em série executadas por apenas um colaborador                              | Divisão das atividades para dois níveis de qualificação de mão de obra                                                | Redução, em 35 %, do tempo padrão;             |
| Diagrama de Fluxo de Processo | Grandes distâncias percorridas para movimentação de peças                             | Readequação de <i>layout</i>                                                                                          | Redução na distância percorrida em 11 %        |
| Diagrama de Espaguete         | Movimentações excessivas, com elevado número de cruzamentos                           | Readequação de <i>layout</i>                                                                                          | Redução da área da estação de trabalho em 12 % |
| Gráfico homem máquina         | Atividades executadas por apenas um colaborador e interação com as fontes de soldagem | Divisão das atividades para dois níveis de qualificação de mão de obra, com desenvolvimento de atividades em paralelo | Redução do custo com mão de obra em 9%         |

Fonte: Autoria própria

Tabela 10 – Sumário das reduções previstas de custo para propostas aplicadas as 20 estações

| <b>Proposta</b>                             | <b>Estação</b>          | <b>Redução de Custo Anual<br/>(Previsão)</b> |            |
|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|------------|
| Mão de obra                                 | Estação de Trabalho E13 | R\$                                          | 3.184,89   |
| Redução da área<br>ocupada - m <sup>2</sup> | Estação de Trabalho E13 | R\$                                          | 142.912,00 |
| <b>TOTAL</b>                                | -----                   | R\$                                          | 146.096,89 |

Fonte: Autoria própria

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de tempo, movimentos e métodos pode proporcionar ganhos para uma organização, de forma a contribuir para a melhoria da sua produtividade e, consequentemente, competitividade. Isso porque, ao se tornar mais produtiva, ela terá seus custos reduzidos, que permitirá o aumento dos seus lucros e/ou redução do preço do seu produto, que pode contribuir para o aumento das vendas.

A partir do desenvolvimento deste estudo, por meio da aplicação de diferentes ferramentas da engenharia do trabalho e propostas, significativas melhorias foram feitas. Por meio de análise dos dados, observou-se que o colaborador qualificado desenvolve diversas atividades menos complexas, que poderiam ser desenvolvidas por um profissional de qualificação mais baixa. Assim, sugeriu-se a inclusão de um colaborador para dividir as atividades realizadas nesta estação de trabalho, de forma que o soldador de maior nível de qualificação desenvolvesse, em sua maioria, atividades mais complexas e o soldador de menor nível de qualificação realizasse as atividades mais simples. Com essa sugestão, um novo fluxo de processo foi elaborado, de maneira que o processo fosse executado com atividades em paralelo, no lugar da sua execução em série. Essas ações podem proporcionar redução no valor da mão de obra em 9 %, e no tempo de ciclo em 35 %, para esta estação de trabalho.

Também, foi observado que havia grande distância percorrida para movimentação de peças dentro da estação de trabalho. Assim, um novo *layout* foi sugerido de forma a tornar o fluxo mais claro e reduzir as distâncias de movimentação de peças. As ações conjuntas possibilitam uma redução na distância percorrida em 11 % e na área da estação de trabalho em 12 %.

Outra constatação feita é que as fontes de soldagem ficam ligadas, mas inativas, durante um longo período. Assim, elas consomem energia e contribuem para aumento dos custos de produção, sem estarem colaborando efetivamente no processo, se apresentando como um possível tópico de estudo para trabalhos futuros.

Portanto, observa-se que a aplicação do estudo de tempos, movimentos e métodos poderá contribuir de forma significativa para melhoria da produtividade da organização, por meio da redução do tempo de processo, de custos de produção e de consumo de energia. Assim, este estudo se mostra eficaz em contribuir para as organizações se tornarem mais competitivas.

Destaca-se que o presente trabalho foi desenvolvido em uma das 20 estações de trabalho do processo de soldagem da empresa. Assim, a metodologia desenvolvida neste trabalho poderá ser replicada para as demais estações, contribuindo para aumento dos benefícios proporcionados por este estudo.

Também, destaca-se que este estudo pode contribuir com a escassa literatura atual sobre o assunto, mostrando uma aplicação prática da análise do tempo, movimentos e métodos em uma empresa de manufatura.

Para trabalhos futuros, sugere-se que o *design* dos gabaritos seja revisado com o objetivo de reduzir as movimentações realizadas pelo colaborador durante o processo. Além disso, sugere-se que uma frequência maior de treinamentos aos soldadores para reciclagem seja feita, tendo em vista as constatações feitas no estudo, em que algumas atividades necessárias não estão sendo executadas.

## REFERÊNCIAS

AGRONEGÓCIO brasileiro começa 2023 com superávit de US\$ 8,69 bilhões: O milho foi o destaque nas exportações em janeiro deste ano, com alta de 166,5% no valor e 125,9% na quantidade. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**: Coordenação-Geral de Imprensa e Comunicação Social, 10 fev. 2023. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/13523-agronegocio-brasileiro-comeca-2023-com-superavit-de-us-8-69-bilhoes>. Acesso em: 13 set. 2023.

ALEKSANDER, Aleksander; TIAN, Bozhi. Quiet Brainstorming: Expecting the Unexpected. **Matter of Opinion**, [s. l.], v. 3, p. 594-597, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.08.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590238520304306>. Acesso em: 21 fev. 2023.

A.S.M.E. Standard Operation and Flow Process Charts: American Society of Mechanical Engineers. Special committee on standardization of therbligs, process charts, and their symbols. 29 West 39th Street, New York 18: **American society of mechanical engineers**, 1947. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/A\\_S\\_M\\_E\\_Standard\\_Operation\\_and\\_Flow\\_Proc/hBAhAAAAMAAJ?hl=en&gbpv=0&bsq=A.S.M.E.%20Standard%20Operation%20and%20Flow%20Process%20Charts](https://www.google.com.br/books/edition/A_S_M_E_Standard_Operation_and_Flow_Proc/hBAhAAAAMAAJ?hl=en&gbpv=0&bsq=A.S.M.E.%20Standard%20Operation%20and%20Flow%20Process%20Charts). Acesso em: 19 out. 2022.

BARNES, Ralf M. ESTUDO DE MOVIMENTOS E DE TEMPOS: PROJETO E MEDIDA DO TRABALHO. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1977. 631 p.

BONNARDEL, Nathalie; DIDIER, John. Brainstorming variants to favor creative design. **Applied Ergonomics**, [s. l.], ano 2020, v. 83, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102987>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687018305520?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CHOUDHURY, Bishub; CHANDRASEKARAN, M. Investigation on welding characteristics of aerospace materials – A review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], ano 2017, v. 4, ed. 8, p. 7519-7526, 18 out. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.083>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785317313779>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CORTÉS, Daniel; RAMÍREZ, José; PONCE, Pedro; MOLINA, Arturo. S3 manufacturing process taxonomy. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], ano 2021, v. 67, p. 579-610, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.04.069>. Disponível em: [S3 manufacturing process taxonomy - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S154636922100069). Acesso em: 08 jan. 2023.

PRODUCTIVITY in Brazilian manufacturing: Labor productivity drops 2.1% in Q3 2022. [S.l.], 1jun.2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/productivity-in-brazilian-manufacturing/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

FU, Junyu; MA, Yongsheng. A method to predict early-ejected plastic part air-cooling behavior towards quality mold design and less molding cycle time. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], ano 2019, v. 56, p. 66-74, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.08.004>. Disponível em: [A method to predict early-ejected plastic part air-cooling behavior towards quality mold design and less molding cycle time - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.08.004). Acesso em: 1 mar. 2023

GROOVER, Mikell. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. 4. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2010. 1024 p.

GROOVER, Mikell. **Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work**. 1. ed. London: Pearson Education, 2013. 744 p. ISBN 978-1-292-02705-0.

HORVAT, Djerdj; KROLL, Henning; JÄGER, Angela. Researching the Effects of Automation and Digitalization on Manufacturing Companies' Productivity in the Early Stage of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, Karlsruhe, v. 39, p. 886-893, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.401>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920304728?via%3Dihub>. Acesso em: 1 mar. 2023.

HOULDCROFT, Peter; JOHN, Robert. Welding productivity. In: WELDING and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes. [S. l.]: **Woodhead Publishing**, 2014. cap. 12, p. 195-201. ISBN 9781855735781. DOI <https://doi.org/10.1533/9781845698942.195>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855735781500150>. Acesso em: 22 fev. 2023.

JACOBS, F.; CHASE, Richard. **Administração da produção e operações: O essencial**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 424 p. ISBN 978-85-7780-401-6.

JIANG, Yongyue; LIN, Ping. Improvement of numerical simulation for GMAW based on a new model with thermocapillary effect. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, [s. l.], v. 356, p. 37-45, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.01.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037704271930055X>. Acesso em: 31 jan. 2023.

JOSEPH, R.; KANYA, N.; BHASKAR, K.; XAVIER, J.; SENDILVELAN, S. Sendilvelan; PRABHAHAR, M.; KANIMOZHI, N.; GEETHA, S. Analysis on productivity improvement, using lean manufacturing concept. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 45, p. 7176-7182, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.412>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321015327>. Acesso em: 4 abr. 2023.

KANAWATY, George. **Introduction to work study**. 4. ed. rev. [S. l.: s. n.], 1992. 541 p. ISBN 9221071081.

KHAN, M. **Industrial Engineering**. 1. ed. [S. l.]: New Age International, 2004. 314 p. ISBN 81-224-1509-1.

KIM, JiWook; GOLABCHI, Alireza; HAN, SangUk; LEE, Dong-Eun. Manual operation simulation using motion-time analysis toward labor productivity estimation: A case study of concrete pouring operations. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 126, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103669>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521001205?via%3Dihub>. Acesso em: 1 nov. 2022.

KRUGMAN, Paul. **The Age of Diminished Expectations**. 3. ed. [S. l.]: The MIT Press, 1997. 244 p. ISBN 9780262611343.

LOPETEGUI, Marcelo; YEN, Po-Yin; LAI, Albert; JEFFRIES, Joseph; EMBI, Peter; PAYNE, Philip. Time motion studies in healthcare: What are we talking about?. **Journal of Biomedical Informatics**, [s. l.], v. 49, p. 292-299, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2014.02.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1532046414000562?via%3Dihub>. Acesso em: 5 jan. 2023.

MACEDO, Bruno; FERREIRA, Miguel. Welder learning curves behaviour: ?focus on welding productivity with the TIG process of marine platforms stainless steel pipes?. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 496-513, 2023. DOI <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2020-0468>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-06-2020-0468/full/html>. Acesso em: 13 set. 2023.

MARTINS, Petrônio; LAUGENI, Fernando. **Administração Da Produção**. [S. l.]: SARAIVA EDITORA, 2015. 584 p.

MILTENBURG, John; SPARLING, David. Managing and reducing total cycle time: models and analysis. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 46-47, p. David Sparling, 1996. DOI [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)00084-0](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)00084-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0925527394000840>. Acesso em: 28 fev. 2023.

MOULI, C.; KULKARNI, Sudheer; KULKARNI, D. Productivity improvement of a small scale industry by the application of an effective plant layout and weld-fixture design. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 52, p. 367-372, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321058569?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2023.

NASCIMENTO, Felipe; SANTOS, Aline; JÚNIOR, Lázaro; NUNES, Deivid. Application of Lean Six Sigma to Reduce Delays in Engineering Changes. **IEEE Transactions on Engineering Management**, [s. l.], p. 1 - 14, 25 ago. 2022. DOI 10.1109/TEM.2022.3199388. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9866873>. Acesso em: 13 set. 2023.

NURHAYATI, M.; ZAWIAH, M.; MAHIDZAL, D. The relationship between work productivity and acute responses at different levels of production standard times. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 56, p. 59-68, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.09.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814116301597>. Acesso em: 3 jan. 2023.

OMAR, Mohamed; ELERIAN, Fatma; SOLTAN, Hassan; IBRAHIM, Magdy. An Integrated Approach for Welding Process Selection. **Mansoura Engineering Journal**, Mansoura, Egypt, v. 43, 2020. DOI <https://doi.org/10.21608/bfemu.2020.94524>. Disponível em: <https://mej.researchcommons.org/cgi/viewcontent.cgi?article=2769&context=home>. Acesso em: 18 jan. 2023.

OKUMUS, D.; FARIYA, S.; TAMER, S.; GUNBEYAZ, S.; YILDIZ, G.; KURT, R.; BARLAS, B. The impact of fatigue on shipyard welding workers? occupational health and safety and performance. **Ocean Engineering**, [s. l.], v. 285, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115296>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801823016803?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2023.

PAL, Kamal; PAL, Surjya. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, [s. l.], v. 20, p. 918-931, 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9717-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-010-9717-y>. Acesso em: 4 abr. 2023.

PALANGE, Atul; DHATRAK, Pankaj. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, Volume 46, Part 1, 2021, Pages 729-736. Materials Today: Proceedings, [s. l.], v. 46, p. 729-736, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320398783>. Acesso em: 8 mar. 2023.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

REHMAN, Ateeq; RAMZAN, Muhammad; SHAFIQ, Muhammad; RASHEED, Abher; NAEEM, Muhammad; SAVINO, Matteo. Productivity Improvement Through Time Study Approach: A Case Study from an Apparel Manufacturing Industry of Pakistan. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 39, p. 1447-1454, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.306>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920303735>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SENDERSKÁ, Katarína; MAREŠ, Albert; VÁCLAV, Štefan. Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. **U.P.B. Sci. Bull., Series D**, [s. l.], v. 79, p. 139-150, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316634571\\_Spaghetti\\_diagram\\_application\\_for\\_workers%27\\_movement\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/316634571_Spaghetti_diagram_application_for_workers%27_movement_analysis). Acesso em: 10 jan. 2023.

SLACK, D.; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 1. ed. [S. l.]: Atlas, 1999. ISBN 978-8522421718.

SLACK, N.; JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. ISBN 978-85-97-01537-9.

SPAGHETTI charts and physical distancing. United Kingdom: **Lean Enterprise Academy**, 20 abr. 2020. Disponível em: <https://www.planet-lean.com/articles/spaghetti-chart-physical-distancing>. Acesso em: 5 abr. 2023.

SREEKUMAR, M.; CHHABRA, Meghna; YADAV, Ruchika. Productivity in Manufacturing Industries. **International Journal of Innovative Science and Research Technology**, [s. l.], v. 3, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333817038\\_Productivity\\_in\\_Manufacturing\\_Industries](https://www.researchgate.net/publication/333817038_Productivity_in_Manufacturing_Industries). Acesso em: 14 dez. 2022.

STANDARD Work for the Shopfloor: Productivity Press Development Team. [S. l.]: Taylor & Francis, 2002. 112 p. ISBN 1563272733. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=ye7gwAEACAAJ&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.br/books?id=ye7gwAEACAAJ&source=gbs_book_other_versions). Acesso em: 11 jan. 2023.

USUBAMATOV, Ryspek; RIZA, Abdul; MURAD, Muhamad. A method for assessing productivity in unbuffered assembly processes. *Journal of Manufacturing Technology Management*, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 123-139, 2013. DOI <https://doi.org/10.1108/17410381311287526>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17410381311287526/full/html>. Acesso em: 13 set. 2023.

WANG, Baicun; HU, S.; SUN, Lei; FREIHEIT, Theodor. WANG B.; JACK H. S.; SUN L.; FREIHEIT T.; Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. **Journal of Manufacturing Systems**. 2020. *Journal of Manufacturing Systems*, [s. l.], v. 56, p. *Journal of Manufacturing Systems*, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612520301102?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2023.

WEMAN, Klas. **Welding Processes Handbook**. 2. ed. [S. l.]: Woodhead Publishing Limited, 2012. ISBN 978-0-85709-510-7. DOI <https://doi.org/10.1533/9780857095183.1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780857095107/welding-processes-handbook#book-description>. Acesso em: 6 fev. 2023.

WOLFF, Edward. Productivity measurement within an input-output framework. *Productivity measurement within an input-output framework*, [s. l.], ano 1994, v. 24, p. 75-92, 1994. DOI [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0166-0462(94)90020-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0166046294900205>. Acesso em: 19 jan. 2023.

WU, Kaiyuan; ZHAN, Jiatong; CAO, Xuanwei; ZENG, Cao; DING, Nian. Metal transfer of aluminum alloy double-wire pulsed GMAW with a median waveform. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 286, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116761>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013620301758>. Acesso em: 8 dez. 2022.

ZONG, Ran; CHEN, Ji; WU, Chuansong. A comparison of double shielded GMAW-P with conventional GMAW-P in the arc, droplet and bead formation. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 285, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116781>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013620301953>. Acesso em: 21 dez. 2022.