

Aplicação de simulação computacional para validar o balanceamento de uma linha de produção: estudo de caso em uma empresa do ramo metal-mecânico

Fransiel Frigotto, Leandro Luís Corso e Tiago Vacaro

Resumo

A dificuldade encontrada pelas empresas em ajustar seus processos industriais devido à variação da demanda que o mercado impõe, requer flexibilidade no ajuste de suas linhas produtivas. Esses movimentos não desejados pelas organizações fazem-nas encontrar a melhor configuração de suas linhas produtivas, dispondo seus postos de trabalho de maneira que sejam equilibrados entre si, gastando o mesmo tempo para desenvolver as atividades definidas para os mesmos. Diante desta perspectiva, o artigo aborda o balanceamento das atividades operacionais em uma indústria do ramo metal-mecânico, combinada com a simulação computacional. O principal intuito do trabalho é obter um modelo capaz de atender a meta de eficiência da planta fabril. Para isso, são considerados diferentes tipos de produtos e 26 postos de trabalho. A utilização da simulação computacional permitiu encontrar os pontos em que o fluxo produtivo apresentava restrição ou bloqueava o avanço da linha. Com o término da simulação verificou-se também, que em determinados postos de trabalho a eficiência meta estipulada pela organização não era atingida. Outro fator determinante, relacionado a mão de obra chegou-se à conclusão que, no processo geral, o número de operadores era o suficiente, porém existiam pontos de desequilíbrio entre os postos de trabalho, onde, em alguns havia excessos de funcionários, que, por consequência, faltava mão de obra em outras estações de trabalho.

Palavras-chave

Industria 4.0, Balanceamento de mão de obra, Simulação Computacional

Computer simulation application to validate the balance of a production line: a case study in a metal-mechanical industry

Abstract

The difficulty encountered by companies in adjusting their industrial processes due to the variation in demand that the market imposes, requires flexibility in adjusting their production lines. These movements considered unwanted by organizations make them find the best configuration of their production lines, arranging their work stations in a way that they are balanced with each other, spending the same time to carry out the activities defined for them. Faced with this perspective, the article addresses the balancing of operational activities in a metal-mechanical industry, combined with computer simulation. The main purpose of the work is to obtain a model capable of reaching the efficiency target of the manufacturing plant. For this, different types of products and 26 work places are considered. The use of computer simulation made it possible to find the areas in which the production flow was restricted or blocked, preventing the line from advancing. With the end of the simulation, it was also verified that in certain work stations the target efficiency stipulated by the organization was not achieved. Another determining factor, related to labor, it was concluded that, in the general process, the number of operators was sufficient, but there were points of imbalance between the work places, in some work stations there were more employees than necessary, and consequently missing in other places.

Keywords

Industry 4.0, Balanced workforce, Computer Simulation,

Pós graduação em Engenharia 4.0 – Universidade de Caxias do Sul (UCS)

E-mails: ffrigotto@ucs.br; llcorso@ucs.br; tiago.vacaro@gmail.com

Data de envio: 06/09/2020

Data de aceite: 31/10/2020

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p187>

I. INTRODUÇÃO

Inseridos em um mercado onde as exigências dos usuários finais buscam respostas cada vez mais ágeis, as indústrias vêm buscando encurtar as datas de entregas de seus produtos no momento que firmam o pedido do item com a respectiva data de entrega prometida [1]. Acompanhando a evolução da ciência e tecnologia, as empresas buscam constantemente melhorar as eficiências produtivas de seus recursos produtivos, onde, os pequenos e personalizados lotes aparecem para dificultar a otimização destes ambientes fabris. Esta dificuldade encontrada na otimização das indústrias, é foco de pesquisas acadêmicas e da gestão de produção que buscam por meio da simulação resolver os problemas de restrições impostas pelas restrições que esta nova configuração de produtos apresenta [2].

As dificuldades encontradas ao se programar as empresas são desafiadoras, pois muitos parâmetros necessitam ser considerados no momento em que se estabelecem o volume que a planta fabril irá produzir, buscando maior assertividade na utilização dos recursos internos [3]. Os sistemas com linhas de produção foram iniciados por Henry Ford em suas fábricas de automóveis [4].

O uso de técnicas de simulação permite avaliar, em vários campos, o desempenho de um sistema de produção em um ambiente virtual. Por meio deste estudo virtual é possível verificar o desempenho real de unidades fabris com relação a ocupação ou mesmo com gargalos [3]. A partir deste ponto, pesquisas e estudos foram dedicadas a este tópico, pois a estruturação de uma linha de montagem, além de ser uma decisão de longo prazo e desprendimento de elevado valor financeiro, requer estabilidade dentro das atividades necessárias para se produzir o bem final da instituição [4].

Desta forma, é possível identificar os pontos que necessitam melhorias para não interferirem negativamente no fluxo produtivo da unidade fabril. Com isso busca-se o equilíbrio entre as estações de trabalho, ou seja, um balanceamento uniforme em suas linhas de produção [3]. Neste cenário, o balanceamento desempenha função vital na estruturação dos pontos de trabalho, buscando sempre aumentar a eficiência deste setor e mitigar as interferências produtivas [4].

A partir da década de 50, o balanceamento de linha tem sido estudado, onde as análises se concentraram no modelo em que um único produto é fabricado na linha de montagem. Porém, a demanda por produtos personalizados aumentou, forçando a estruturação dos postos de trabalho flexíveis para montar várias versões de produtos. O balanceamento da linha permite determinar o número de estações de trabalho, bem como a atribuição das tarefas de forma equilibrada, respeitando suas restrições e precedências de cada modelo [5].

A técnica do balanceamento consiste em equilibrar as cargas de trabalho e os colaboradores, buscando alcançar a taxa de produção necessária. Diante desta visão, o conjunto, processo de montagem, *layout* dos postos de trabalho e tempo de ciclo devem ser analisados para garantir o fluxo contínuo do produto que está sendo processado. Do conjunto de itens citados, a estação de trabalho necessita de uma análise detalhada, pois possibilita o entendimento das operações, bem

como os detalhes que podem ser melhorados no processo produtivo [5].

Este método economiza tempo e custos quando mencionado o requisito observação, além destes ganhos, a simulação computacional pode apresentar resultados de alterações fabris sem modificar o fluxo produtivo atual [1]. A simulação por computador não depende da habilidade de observação do usuário para que sequenciamentos produtivos possam gerados, pois, a sua capacidade de verificar e demonstrar os pontos restritivos da produção são predeterminados com precisão, fato este que podem ser despercebidos aos olhos do observador [6]. Garantindo com que as programações das linhas produtivas das fábricas sejam de excelente qualidade, pode-se reduzir custos, ter maior flexibilidade produtiva, bem como aceitar mais pedidos de clientes. Além disso a simulação pode revelar problemas de *layouts* como gargalos, *lead time* equivocados e prazos de entrega a longo prazo fora da estimativa de entrega.

Estudos foram realizados em indústrias que não utilizava nenhuma ferramenta para agendar sua produção, tendo por objetivo reduzir o tempo de processamento e garantir a entrega da produção no menor prazo possível. Após a utilização de software de simulação que considerou alguns fatores de desempenho foi possível diminuir o tempo de fabricação em 24% [1].

A empresa do estudo de caso deste trabalho utiliza o modelo de produção contínua. Porém o balanceamento da mesma é definido pelo conhecimento adquirido por observadores ao longo do tempo. Além disso a quantidade de recurso, mão de obra, é feito globalmente considerando o tempo total de atravessamento do produto. Considera-se sempre uma eficiência meta pré-definida, porém em alguns postos de trabalho pode-se obter uma eficiência menor que a desejada. O trabalho visa analisar o balanceamento das operações definidas atualmente e propor melhorias no processo, bem como alocar ou realocar a mão de obra necessária para produzir a quantidade diária programada dentro da eficiência almejada. Além disso verificar se todos os postos de trabalho estão atingindo a eficiência meta de suas estações de trabalho, o que refletirá nas respectivas linhas de montagem. Por meio do estudo realizado foi possível verificar onde se encontravam as esperas e bloqueios que o sistema produtivo apresentava.

Para auxiliar neste estudo utilizou-se o *software Plant Simulation* como ferramenta para simular as linhas de montagens com suas estações de trabalho e tempos de atravessamento retirados do roteiro de produção. Além dele, também foi utilizado as planilhas do *Microsoft Excel* para compilar os dados que foram utilizados pelo *Plant Simulation*.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Indústria 4.0

Pesquisadores elencam como sendo quatro as principais transformações que a indústria sofreu [8]. Entre os anos de 1760 a 1840 ficou conhecido como a primeira revolução industrial, onde a máquina a vapor foi a principal transformação. Já no século XIX foi a utilização da eletricidade que transformou a as fábricas e passou a ser chamada de segunda revolução industrial. A terceira revolução

inicia em 1960, propondo uma integração entre sistemas de operações de manufatura e tecnologias de informação e comunicação. A quarta revolução industrial surge com o objetivo de tornar as fábricas inteligentes por meio da integração de objetos físicos com as tecnologias digitais. Esta transformação também é conhecida como Indústria 4.0 [7].

Esta nova revolução, pelo motivo de olhar para toda a organização gera um impacto no modelo de negócio das instituições, pois estão utilizando conceitos oferecidos pela Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), por exemplo [7]. Ambientes mecânicos e automatizados estão sendo analisados por meio da digitalização de suas atividades. Este fator tornou-se possível devido aos sistemas Cyber-Físicos (*Cyber-Physical Systems* – CPS) [8].

A partir deste fato, nasce a iniciativa do conceito da indústria 4.0. Acadêmicos e o poder público alemão, uniram-se para atingir o objetivo proposto por ela, tornar empresas do ramo manufatureiro da Alemanha competitivas frente a outros mercados. Além da Alemanha outros países como França (*Nouvelle France Industrielle*), Estados Unidos (*Advanced Manufacturing Partnership*) e Espanha (*Industry Connected 4.0*) direcionam seus esforços para desenvolver este novo aprendizado [7].

A Integração que ocorre entre as etapas fabris das organizações com a tecnologia da comunicação e da informação só é possível devido à forte integração que os CPS possibilitam. Isto possibilita o acompanhamento de forma remota as atividades das indústrias, graças a tecnologia que a Indústria 4.0 oferece [9]. Para sustentar toda essa tecnologia, alguns pilares são fundamentais para tal integração. Cita-se as tecnologias de Internet das Coisas Industrial (IIoT), robótica autônoma, Integração horizontal e vertical, Cyber segurança, manufatura aditiva, *Big data* e *data analytics*, computação em nuvem, realidade aumentada e simulação [10].

A tecnologia da simulação auxilia na análise dos vários processos de transformação que o produto atravessa na sua construção. Assim sendo, esta tecnologia evita erros pois os mesmos podem ser vistos antes do produto entrar em fabricação. Além disso é possível melhorar os processos produtivos pois a simulação apresenta pontos falhos do processo. Com isso o aumento da produtividade e os problemas podem ser analisados de forma amigável na apresentação dos resultados que são fornecidos por esta tecnologia [8].

B. Simulação Computacional

A ferramenta de simulação computacional pode ser definida como um sistema de informação ou de planejamento que representa virtualmente o desempenho de um modelo real por meio de modelo matemático. Este recurso é utilizado para solucionar problemas por meio da análise de comportamento que esta técnica disponibiliza com o auxílio de um recurso digital, na maioria das vezes, um computador [11].

A imitação de um determinado sistema, pode ser registrado por meio de um programa de computador, denominado espaço virtual, com a finalidade de se realizar um estudo ou de analisar o seu comportamento [12]. O foco desta análise concentra-se na redução de desperdícios que os sistemas de fabricação possam apresentar. Por meio dele é possível

visualizar suas limitações, particularidades, conectividade entre as etapas do processo para seu funcionamento, e também, condições específicas que aos olhos de um observador passariam despercebidas [13].

Buscando solucionar seus problemas de planejamento, controle de projeto e sistemas complexos, fabricação, abastecimento de materiais, comunicação e vários outros sistemas, as indústrias de manufatura, seja da construção civil, automobilística, transporte ou área militar, vem se destacando na utilização das poderosas ferramentas que a simulação dispõe. Desta forma a simulação auxilia na competitividade das organizações, pois auxilia na redução de custos, prevendo as adversidades do processo produtivo, bem como avaliar a viabilidade técnica e econômica do negócio [15].

As etapas para realização de um estudo de simulação podem ser elencadas nas atividades listadas a seguir [11]:

- formulação do problema;
- coleta de dados;
- definição e validação do modelo;
- construção e verificação do programa computacional;
- realização e execução do piloto;
- validação do modelo programado;
- projeto de experimentos;
- realização das execuções da simulação;
- análise de resultados;
- implementação.

Dentro da etapa de construção e verificação do programa computacional, definiu-se também a construção do modelo computacional. Softwares para simulação são desenvolvidos por líderes mundiais neste segmento, como a Siemens com o *Tecnomatix Plant Simulation*, a Dassault com o *CATIA V6* e *AutoMod* e o ProModel, dentro outros. Todos são desenvolvidos com o intuito de facilitar a tomada de decisões e uma percepção de seus processos produtivos por engenheiros ou outros funcionários que não detenham o conhecimento dos processos produtivos [15].

Por meio da simulação, o comportamento de um sistema, simples ou complexo, pode ser observado a fim de entender seu desempenho e propor melhorias buscando identificar de maneira clara as alterações que solucionaram o problema [16].

Os ganhos associados à simulação, liga-se ao fato de que a mesma é capaz de gerar estatísticas de desempenho e requisitos para acompanhar o aprimoramento da produção, mantendo os gestores informados, de forma visual e prática da situação de melhoria proposta. Assim evita-se desperdícios caso as alterações sejam equivocadas [17].

C. Balanceamento

Cada vez mais inseridos em um ambiente competitivo, as linhas de montagem estão sendo cada vez mais exigidas para atender as demandas e expectativas dos clientes. Desde modo, aumentar a flexibilidade e a produtividade das seções de trabalho torna-se necessária, a fim de se ter uma resposta positiva aos anseios do cliente final, seja ele externo a organização ou interno. Produtos com tempos e ciclos diferentes dividirão o mesmo posto de fabricação [18].

Produtos inacabados fluem por uma linha de montagem, passando por estações de trabalho configuradas para

manufaturar em massa mercadorias padronizadas ou customizadas. O balanceamento de linha surge como opção para que se realize uma atribuição ideal das tarefas dos postos de trabalho tentando melhorar ao máximo a eficiência produtiva da linha ou setor de montagem [19]. O desequilíbrio ou desbalanceamento das linhas produtivas podem gerar custos desnecessários. Deste modo é possível determinar conjuntos de tarefas para equalizar a linha de montagem, tornando o grupo de operações mais eficiente, ou seja, mais produtivo a um menor custo [04].

As linhas de montagens podem ser definidas por um conjunto de atividades a serem executadas, por meio de uma tarefa, movimentos, utilizando uma ferramenta, utilizando procedimentos de instalação mais adequados, limpeza, inspeção de peças e produtos semiacabados, dentre outros. O tempo necessário para executar uma tarefa é chamado de tempo de processamento. As configurações das estações de trabalho podem ser projetadas em linhas paralelas ou intra-linha. Na configuração de linha paralela, o operador executa suas atividades nos postos de trabalho das duas linhas. Já na configuração intra-linha a manufatura dos produtos ocorre na mesma linha [18].

Atribuição de tarefas a um determinado conjunto de atividades para uma determinada sequência de estações de trabalho, considerando as restrições de encadeamento existentes, definindo relações de precedência, são algumas das considerações que o balanceamento observa durante o seu detalhamento. Além disso outro fator fundamental analisado é o tempo de ciclo, pois é ele quem determina o ritmo de avanço da linha de montagem ou da estação de trabalho [21].

III. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo desenvolveu-se para realizar o balanceamento de uma unidade fabril do ramo metalomecânico, com auxílio da ferramenta *Microsoft Excel* que foi usada na compilação dos dados de entrada para o software *Plant Simulation* versão 15 [15]. A estrutura para organização do trabalho seguiu as etapas conforme descrito na seção II.B. Porém, algumas etapas não foram executadas, como realização e execução do piloto e projeto de experimentos. A Figura 01 apresenta o fluxograma seguido para realizar o balanceamento e a validação do mesmo na planta em estudo.

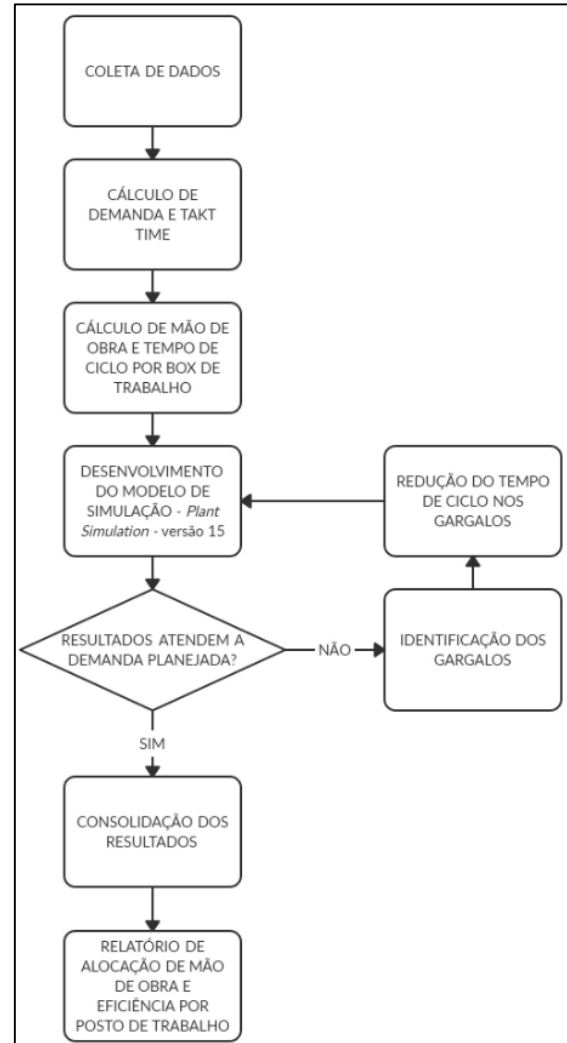


Figura 01: Fluxograma da aplicação desenvolvida

Os dados de entrada para realização do balanceamento, que por consequência serão utilizados como dados de entrada para a realização da simulação computacional, foram extraídos do software ERP da empresa. Por meio dele foram compilados os tempos de processamento dos Produtos A, B e C, dentro dos seus respectivos processos de manufatura. Por conseguinte, calculou-se o valor de *takt time* dos setores produtivos, a quantidade de mão de obra por postos de trabalho, o tempo de ciclo dos produtos por box de trabalho e a eficiência de cada box. Por fim, levantou-se o volume de produto a serem fabricados. Esta quantidade foi sugerida pela direção da organização. Deste modo os estudos realizados consideraram a volume de 08 unidades do Produto A, 08 unidades do Produto B e 04 unidades do Produto C.

O balanceamento buscou equilíbrio da mão de obra necessária destinada à fabricação da quantidade definida de produtos por dia, conforme já mencionado. Este procedimento também foi realizado por meio de planilha eletrônica do *Microsoft Excel*.

Para o desenvolvimento do modelo computacional, analisou-se o *layout* de fabricação. A Figura 02 mostra de forma agrupada a divisão dos setores de fabricação que foram analisados e estudados. Além disso, de forma ampla, a Figura 02 apresenta o fluxo que cada produto percorre para serem manufaturados. Após o término do balanceamento, os dados

foram utilizados como entrada do *software Plant Simulation*, versão 15. Para os setores de pintura e montagem final, por apresentar duas linhas apenas, os produtos foram agrupados por similaridade produtiva em ambos, ou seja, no setor de pintura os Produtos B e C são compatíveis com o processo empregado para se executar as atividades de pintura. Já no setor de montagem final à similaridade está nos Produtos B e C. Por este motivo os produtos não seguem o fluxo produtivo do setor de montagem e solda.

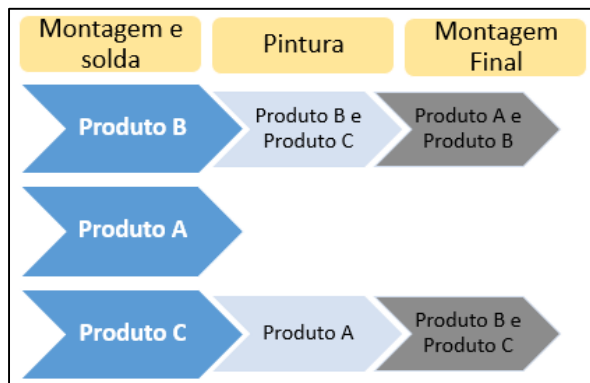


Figura 02: etapas de fabricação

A organização dos tempos foi realizada por meio de planilha do *Microsoft Excel*, conforme demonstra a Tabela 01. Os dados da Tabela 01 foram retirados do sistema ERP da empresa. Porém como a mesma não autorizou a divulgação do nome, também não será possível incluir no trabalho imagens que possam gerar um *link* com a organização. Nela apresentam-se as informações relacionadas aos postos de trabalho do setor de montagem e solda do Produto B. Considerando todo o fluxo produtivo, têm-se a quantidade de 26 postos de trabalho. Por meio dela pode-se observar o número de postos de trabalho que este setor possui, bem como o tempo de cada posto, em minutos.

O tempo refere-se à quantidade de minutos necessários para se executar as atividades designadas à estação. Por exemplo, no posto de trabalho “PRE20” tem-se a quantidade de 77,000 minutos, que são necessários para se realizar a transformação do produto. Este valor equivale a utilização da mão de obra de um funcionário, sem considerar a eficiência estipulada pela empresa, para realizar todas as atividades definidas para este box. Este procedimento foi repetido para os demais setores, pintura e montagem final. Para a simplificação da análise os tempos foram considerados determinísticos.

| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) |
|-------------------|----------------------------|
| PRE20 | 77,000 |
| CH - 01 | 178,499 |
| CH - 02 | 164,798 |
| CH - 03 | 160,116 |
| CH - 04 | 49,266 |
| CH - 05 | 93,613 |
| CH - 06 | 41,874 |

Tabela 01: estrutura de postos de trabalho e tempos

Como método para realizar o balanceamento, cita-se os cálculos utilizados para se definir o número de operadores por box de trabalho, o tempo de ciclo do posto, a eficiência unitária do box e a eficiência da linha onde se fabrica quaisquer um dos 03 produtos. Para os cálculos mencionados, utilizou-se as seguintes informações:

- Mão de obra: dividiu-se o tempo necessário para se realiza a atividade pela eficiência meta estipulada e este resultado dividido pelo tempo *takt* do setor. Por se tratar de recurso humano, os valores que não eram inteiros foram arredondados para cima.
- Tempo de ciclo: dividiu-se o tempo necessário para se realizar a atividade pela eficiência meta estipulada e este valor dividido pelo número de operadores encontrado no cálculo anterior.
- Eficiência do posto de trabalho: dividiu-se o tempo necessário para se realizar a atividade pelo número de operadores e este valor dividido pelo tempo *takt*.
- Eficiência real: multiplicou-se a quantidade de produtos disponível pelo somatório do tempo necessário para realizar todas as atividades do setor, e este resultado dividiu-se pelo somatório da mão de obra do setor multiplicado pelo tempo total disponível.

Por fim, já com a base de dados construída passou-se para o *software Plant Simulation*, versão 15, o *layout* contendo todos os postos de trabalho, os tempos de operação e quantidade de operadores, ambos obtidos pela execução do balanceamento. Além dessas informações considerou-se também recursos de manipulação dos produtos como pontes rolantes e dispositivos utilizados em mais que um ponto de trabalho ou operações que dependem de recursos específicos para realizar a atividade.

A Figura 03 representa o setor de montagem e solda dos Produtos A, B e C. A coloração dos retângulos sobre o *layout* indicam onde cada item é produzido, sendo o Produto A fabricado na linha em que se encontra o retângulo vermelho, o Produto B no espaço demarcado pelo retângulo verde e o Produto C na área contornada pelo retângulo de cor turquesa. No Anexo 01 apresenta-se o *layout* completo da organização, dividido pelos setores de fabricação. Além disso, adicionou-se o fluxo que os produtos percorrem. Os mesmos foram representados por setas indicativas, onde a seta vermelha representa o Produto A, a seta preta o Produto B e a seta verde o Produto C.

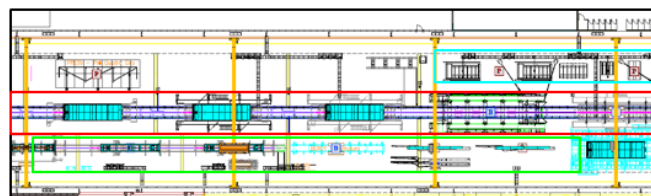


Figura 03: *layout* do setor de montagem e solda

Por fim, com o término da simulação, apresentou-se os dados necessários para validar o balanceamento. Além disso, o *software Plant Simulation* gera os dados da simulação por meio de gráficos, com informações do tempo de ocupação do posto de trabalho, bloqueios e espera dos produtos.

IV. RESULTADOS

A. Coleta de dados e preparação da base de dados

O início do trabalho foi direcionado para a coleta dos tempos de atravessamento dos produtos por suas respectivas linhas de montagem. Estes, foram coletados do sistema ERP da empresa e manipulados com auxílio do *Microsoft Excel*, conforme demonstrado na Tabela 01. A preparação destes dados serviu de entrada para a realização dos cálculos designados a se obter o balanceamento do posto de trabalho, e por consequência da linha produtiva. Cada setor foi trabalhado de forma individual, ou seja, para cada etapa do processo de fabricação ocorreu uma análise, considerando as seguintes etapas: montagem e solda, pintura e montagem final. Vale ressaltar que, os setores estão divididos em mais de uma linha de montagem. Por exemplo, no setor de montagem e solda contém 03 linhas, o setor de pintura e montagem final 02 linhas. Além desta divisão, de setores, têm-se a divisão por posto de trabalho, que somando todos obtêm-se a quantidade de 26 postos de trabalho. O Anexo 01 demonstra as linhas produtivas dos 03 setores.

Desta forma, foi necessário extrair do ERP os tempos de cada produto, separando os mesmos conforme a sequência produtiva do item. A Tabela 02 exemplifica os tempos retirados do sistema ERP do setor de montagem e solda do Produto A. estes tempos não contemplam a eficiência da empresa, ou seja, é somente o tempo necessário para a transformação do produto.

| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) |
|-------------------|----------------------------|
| PRE01 | 322,476 |
| BOX01 | 217,641 |
| BOX02 | 318,280 |
| PRE03 | 34,843 |
| BOX03 | 257,892 |
| PRE04 | 167,476 |
| BOX04 | 98,040 |
| BOX05 | 316,432 |
| BOX06 | 240,336 |

Tabela 02: tempos de roteiro do Produto A

Seguindo o procedimento mencionado, repetiu-se os mesmos procedimentos que os demonstrados nas Tabelas 01 e 02. Estes valores extraídos dos roteiros foi um dos dados de entrada do balanceamento. Na etapa do balanceamento, será exposto os tempos de todas as linhas de montagem dos 03 setores.

Por conseguinte, verificou-se o tempo disponível para se manufaturar os produtos mencionados. A empresa do estudo, adota como turno de trabalho períodos de 08 horas e 48 minutos, que transformados para a mesma unidade de medida dos tempos de roteiro, representam 508 minutos disponíveis para a execução das atividades, pois desconta-se 10 minutos no início e final de turno para se realizar reuniões de alinhamento no começo do trabalho e mais 10 minutos ao final para se realizar a limpeza do setor. Este tempo refere-se a um turno de trabalho. No estudo de caso foram considerados 02 turnos de trabalho com 508 minutos disponíveis para cada turno.

Por fim, validou-se a quantidade de produtos que deveriam ser fabricados na unidade fabril. Levou-se em consideração o desejo da organização em se fabricar 08 unidades por dia do Produto A, 08 unidades do Produto B e 04 unidades do Produto C. Este volume foi dividido em dois turnos de trabalho, resultando a fabricação de 04 unidades do Produto e B e duas unidades do Produto C, por turno.

B. Balanceamento das linhas

Após ter a preparação de dados finalizada, o balanceamento dos postos de trabalho foi a etapa seguinte, tendo como objetivo principal encontrar o número ideal de colaboradores para desempenhar as atividades programadas para cada posto de trabalho. Por se tratar de um produto novo, onde os funcionários não detinham o conhecimento e segurança da operação, a ocupação meta definida pela organização foi de 40% para toda as etapas do projeto. Dentro deste percentual, estão agregadas as perdas do processo produtivo, como, paradas por manutenção, paradas não programadas, falta de abastecimento de peças ou dificuldades do operador em desenvolver sua atividade por se tratar de produto não conhecido.

As premissas de entrada para realizar o balanceamento dos box, foram os minutos disponíveis para um turno de trabalho que é de 508 minutos. Além disso, utilizou-se também os tempos de fabricação contidos nos roteiros de trabalho. Com o tempo disponível e quantidade de produtos a serem fabricados em cada linha de montagem, calculou-se o *takt time* de cada linha. Devido a diferença de quantidade dos produtos na fabricação, os tempos de atravessamento pelos setores de manufatura, ficaram definidos com os seguintes tempos em minutos:

- Setor montagem e solda:
 - Produto A: 127 minutos;
 - Produto B: 127 minutos;
 - Produto C: 254 minutos.
- Setor de pintura:
 - Produto A: 127 minutos;
 - Produtos B e C: 84,7 minutos.

Vale ressaltar que do setor de pintura até o setor de montagem final, a fábrica deixa de ter três linhas independentes, como no setor de montagem e solda, e passa a ter duas linhas, onde os produtos acabam dividindo recursos para serem fabricados. Por este motivo a diferença de tempos. A seguir apresenta-se também os tempos do setor de montagem final.

- Setor de montagem final:
 - Produto A: 127 minutos;
 - Produto B: 84,7 minutos;
 - Produto C: 63,5 minutos.

Com os valores dos *takt time*, iniciou-se os cálculos de mão de obra para cada posto de trabalho, considerando a eficiência de 40%, os tempos de roteiro e o tempo *takt* mencionado acima. Nesta etapa, por se tratar de números de colaboradores, não é possível obter valores fracionados, ou seja, considerou-se apenas valores inteiros. Para tal atividade utilizou-se como ferramenta de apoio o *Microsoft Excel*. Além da mão de obra calculou-se também o tempo de ciclo, a eficiência individualizada por posto de trabalho e a eficiência do setor.

Com o desenvolvimento dos cálculos foi possível perceber que se considerado a eficiência de 40% para todos os setores, a eficiência global da linha era inferior ao valor desejado pela planta fabril. A Tabela 03 mostra o valor obtido na eficiência real do setor de montagem final do Produto B e C, se considerado a eficiência meta em 40%. Observa-se por meio da Tabela 03 que o valor da eficiência real do setor fica em 21%, sendo que o mesmo deveria ser de 40%. Foram feitas simulações, onde o gargalo de cada setor foi avaliado pontualmente. Quando o mesmo era constatado, o valor da eficiência foi aumentado e uma nova rodada de simulação foi realizada. Este procedimento repetiu-se até que todos os setores não apresentassem pontos de bloqueio, totalizando dez rodadas de simulação.

| | | TAKT | | 84,7 |
|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| | | Eficiência meta | | 40% |
| | | Eficiência real | | 21% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| MONT01 | 203,565 | 7 | 72,702 | 23% |
| MONT02 | 136,945 | 5 | 68,472 | 22% |
| MONT03 | 34,843 | 2 | 43,553 | 14% |

Tabela 03: balanceamento setor de montagem final

Buscando solucionar esta adversidade encontrada, criou-se uma meta “paralela” com o intuito de atingir o valor proposto. Assim sendo, para os diferentes setores da empresa as eficiências locais foram diferentes que os 40% mencionados.

A Figura 04 demonstra a evolução da eficiência meta, valor proposto no estudo, em relação a eficiência real, definida pela empresa. Estas informações estão relacionadas ao setor de montagem final. Para os demais setores foram realizados os mesmos passos.

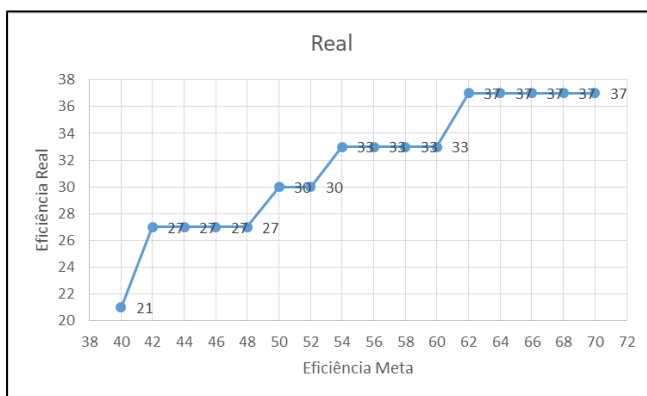


Figura 04: eficiência proposta x eficiência real

No eixo horizontal encontram-se os valores da eficiência meta (valores propostos) e no eixo vertical a eficiência real do setor. Para este setor, mesmo que se aumenta significativamente a eficiência meta não é possível se atingir a eficiência definida pela organização. Porém quando agregado com os demais setores esta eficiência é atingida.

Para demonstrar a importância desta etapa, de se encontrar uma eficiência meta que atingisse a eficiência real de 40% ou o mais próximo disso, a Tabela 04, mostra a diferença obtida na solução proposta quando comparado com a Tabela 03.

| | | TAKT | | 84,7 |
|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| | | Eficiência meta | | 62% |
| | | Eficiência real | | 37% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| MONT01 | 203,565 | 4 | 82,083 | 40% |
| MONT02 | 136,945 | 3 | 73,626 | 36% |
| MONT03 | 34,843 | 1 | 56,198 | 27% |

Tabela 04: valores calculados do setor de montagem final

Para os demais setores foram realizados os mesmos passos do balanceamento conforme já explicado para o setor de montagem final, dos Produtos B e C. A Tabela 05, demonstra os valores obtidos para os setores de montagem e solda e pintura do Produto A. Estes dois setores foram calculados na mesma base de dados, pois passam por eles somente o Produto A. Para o setor de montagem e solda considera-se do box denominado de “PRE01” até ao “BOX06”. Do box denominado “JAT01” ao box “PINT01”, forma-se o setor de pintura do Produto A.

| | | TAKT | | 127,0 |
|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| | | Eficiência meta | | 45% |
| | | Eficiência real | | 39% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| PRE01 | 322,476 | 6 | 119,436 | 42% |
| BOX01 | 217,641 | 4 | 120,911 | 43% |
| BOX02 | 318,280 | 6 | 117,881 | 42% |
| PRE03 | 34,843 | 1 | 77,428 | 27% |
| BOX03 | 257,892 | 5 | 114,619 | 41% |
| PRE04 | 167,476 | 3 | 124,056 | 44% |
| BOX04 | 98,040 | 2 | 108,933 | 39% |
| BOX05 | 316,432 | 6 | 117,197 | 42% |
| BOX06 | 240,336 | 5 | 106,816 | 38% |
| JAT001 | 61,355 | 2 | 68,172 | 24% |
| PINT01 | 119,466 | 3 | 88,493 | 31% |

Tabela 05: valores calculados do setor de montagem e solda mais o setor de pintura

Seguindo o mesmo procedimento do Produto A, a Tabela 06 mostra os números encontrados para o balanceamento do Produto B. Porém para este item dividiu-se o balanceamento do setor de montagem e solda da pintura, pois na linha em que pinta-se este produto, também pinta-se o produto C. Assim sendo, a Tabela 06 apresenta os valores obtidos para o balanceamento do setor de montagem e solda do Produto B.

| | | TAKT | | 127,0 |
|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| | | Eficiência Meta | | 60% |
| | | Eficiência Real | | 40% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| PRE20 | 77,000 | 2 | 64,167 | 30% |
| CH - 01 | 178,499 | 3 | 99,166 | 47% |
| CH - 02 | 164,798 | 3 | 91,554 | 43% |
| CH - 03 | 160,116 | 3 | 88,953 | 42% |

| | | | | |
|---------|--------|---|--------|-----|
| CH - 04 | 49,266 | 1 | 82,110 | 39% |
| CH - 05 | 93,613 | 2 | 78,011 | 37% |
| CH - 06 | 41,874 | 1 | 69,790 | 33% |

Tabela 06: valores calculados do setor de montagem e solda

Para finalizar o balanceamento do setor de montagem e solda, a Tabela 07 apresenta os valores encontrados para a fabricação do Produto C.

| | | | TAKT | 254,0 |
|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| | | | Eficiência meta | 52% |
| | | | Eficiência real | 41% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| BOX01 | 546,396 | 5 | 210,152 | 43% |
| BOX02 | 179,526 | 2 | 172,621 | 35% |

Tabela 07: valores calculados do setor de montagem e solda do Produto C

A Tabela 08 mostra os valores do balanceamento do setor de pintura, considerando que pintam-se nesta linha os Produtos B e C.

| | | | TAKT | 84,7 |
|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| | | | Eficiência meta | 45% |
| | | | Eficiência real | 32% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| PINT01 | 38,500 | 2 | 42,778 | 23% |
| PINT04 | 71,500 | 2 | 79,444 | 42% |

Tabela 08: valores calculados do setor de pintura

Por fim, realizou-se o balanceamento do setor de montagem final, onde realizam-se as últimas operações nos produtos. Neste ponto o Produto A e o Produto B são acoplados, transformando-se em um único item. Já o Produto C, segue individual pelas estações de trabalho neste setor. A Tabela 09 demonstra os valores encontrados. Para não bloquear o setor de pintura dos Produtos B e C, o tempo *takt* deste setor foi considerado como se fosse necessário fabricar 06 produtos por turno.

| | | | TAKT | 84,7 |
|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| | | | Eficiência meta | 62% |
| | | | Eficiência real | 37% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| MONT01 | 203,565 | 4 | 82,083 | 40% |
| MONT02 | 136,945 | 3 | 73,626 | 36% |
| MONT03 | 34,843 | 1 | 56,198 | 27% |

Tabela 09: valores calculados do setor de montagem final dos Produtos A e B

O Produto C, não compartilha a mesma linha produtiva, no setor da montagem, que os Produtos A e B. Assim sendo, a

Tabela 10 apresenta os valores encontrados com o balanceamento desta seção. Para este produto não bloquear a saída do Produto A da pintura, foi necessário considerar o tempo *takt* deste produto como sendo a metade do tempo *takt* do Produto A.

| | | | TAKT | 63,5 |
|-------------------|----------------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| | | | Eficiência meta | 62% |
| | | | Eficiência real | 48% |
| Posto de Trabalho | Tempo de roteiro (minutos) | Mão de Obra | Tempo de Ciclo | Eficiência do Posto |
| MONT01 | 150,114 | 4 | 60,530 | 30% |
| MONT02 | 52,522 | 2 | 42,356 | 21% |
| MONT03 | 42,615 | 2 | 34,367 | 17% |

Tabela 10: valores calculados do setor de montagem final do Produto C

C. Simulação computacional

A simulação computacional do estudo, foi utilizada como a etapa que validou o balanceamento realizado anteriormente. A primeira atividade foi reproduzir o *layout* da planta fabril, com os recursos utilizados para se fabricar os produtos. O Anexo 01 demonstra a divisão dos setores produtivos, bem como o fluxo que os produtos percorrem para serem manufaturados. Somente com o balanceamento não é possível verificar a interferência que os recursos de movimentação impõem ao processo produtivo. Considera-se recurso de movimentação, pontes rolantes. Na estruturação do *layout* foram adicionados estes recursos e informados ao *software Plant Simulation*, versão 15, onde os produtos necessitariam deste recurso para se realizar as atividades de fabricação do mesmo.

Os valores obtidos por meio dos cálculos realizados no balanceamento dos postos de trabalho e apresentados anteriormente, também foram utilizados como dados de entrada do *software*. Estes valores foram os balizadores no momento em que a simulação representava a linha em atividade.

Concluída a estruturação do *layout* e a indicação dos tempos e pessoas, realizou-se a rodada do *software* representado a fabricação dos produtos. Com isso verificou-se os gargalos e bloqueios que os produtos poderiam apresentar. Ao deparar-se com qualquer um destes problemas, a tratativa para a correção seria, voltar ao balanceamento, recalculando os valores do tempo de ciclo, e informar os novos valores ao *Plant Simulation*. Atualizados estes valores, reproduzia-se novamente o processo produtivo por meio do *software*. Este processo repetiu-se até que se atingisse o objetivo do estudo, fabricar a quantidade de produtos estipulada pela organização, durante os dois turnos de trabalho.

Assim que se atingiu o objetivo já mencionado, considerou-se validado o balanceamento dos postos de trabalho. Estes valores são os que foram apresentados no item “balanceamento das linhas”. Como saída da simulação e comprovação da validação do balanceamento cita-se os gráficos gerados automaticamente pelo *software*. A Figura 05 demonstra as informações de fabricação do Produto A, deste o setor de montagem e solda, pintura e montagem.

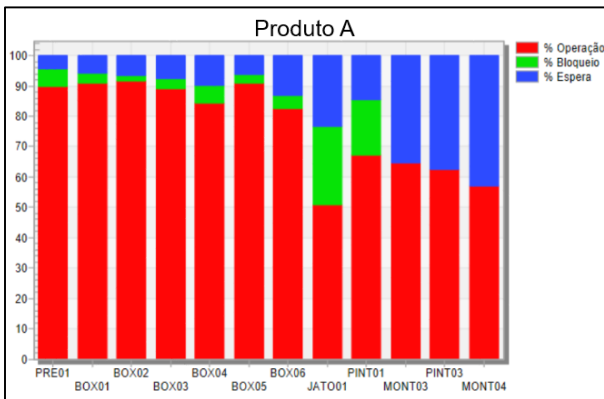


Figura 05: demonstrativo do Produto A

Por meio dela é possível verificar a ocupação de cada posto de trabalho, os bloqueios e os pontos onde o box necessita esperar pelo avanço do produto. Porém estas interferências que ainda aparecem, não impactam no volume final deste produto.

Por conseguinte, apresenta-se as informações geradas pelo *Plant Simulation* relacionadas ao Produto B. A Figura 06 mostra o resultado final da simulação do Produto B.

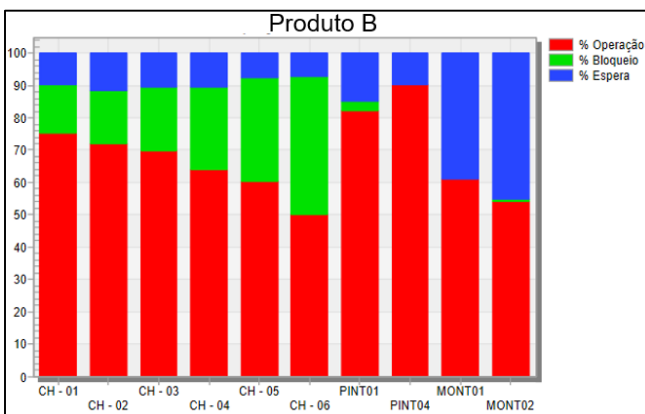


Figura 06: demonstrativo do Produto B

Da mesma maneira que a análise realizada para a Figura 05, interpreta-se a Figura 06. Como o Produto C divide recursos de fabricação nos setores de pintura e montagem final, nos resultados apresentados, encontra-se as operações deste produto. Para o setor de montagem e solda, considerou-se somente o balanceamento, pois o mesmo ocupa apenas dois postos de trabalho, conforme apresentado na Tabela 07.

Por fim, a simulação comprovou a validação dos valores encontrados no balanceamento de forma visual, demonstrando os postos de trabalho que podem travar a linha produtiva. Como exemplo, pode-se citar o “BOX02”, onde, observa-se a ocupação quase que por completa do mesmo. Além disso, tem-se o fator de espera que este posto de trabalho apresenta em relação ao anterior.

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma solução para o problema de balanceamento de unidade fabril, buscando o equilíbrio entre a eficiência estipulada pela empresa e, conseqüentemente, o número de colaboradores por posto de trabalho. Para tanto, a simulação computacional foi de fundamental importância, pois por meio dela, verificou-se os pontos de restrição que a

setores poderiam apresentar, sendo possível focar as ações nos postos de trabalho que realmente necessitavam algum ajuste. Vale ressaltar que vários estudos anteriores foram executados, porém sem sucesso, pois, utilizava-se somente a percepção de observadores que não diagnosticavam o real entrave da planta.

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a simulação computacional, que vem tornando-se realidade nas organizações como ferramenta de auxílio na estruturação de produtos e processos de produção. Através dela é possível representar virtualmente as etapas de transformação que o produto exige para sua confecção, e assim, verificar em que postos de trabalho são necessárias intervenções ou melhorias de forma assertiva e eficaz.

Balancear uma linha de produção é buscar unificar e otimizar o tempo das atividades, buscando melhorar a sincronia da produção e nivelar a capacidade da linha, estabelecendo um fluxo contínuo das operações entre os postos de trabalho. O estudo apresentou o balanceamento das operações considerando o tempo necessário para realizar a operação e a eficiência definida pela empresa. Com estes parâmetros de entrada foi possível aprimorar a quantidade de mão de obra mínima necessária para cada posto de trabalho. O diferencial deste balanceamento está justamente no cálculo individual de cada box, pois, normalmente era calculado a quantidade total de operadores e alocava-se os mesmos conforme o conhecimento de observadores.

A simulação computacional permitiu a ampliação do conhecimento sobre a compreensão do sistema de produção existente. Dessa forma, o estudo abordado neste trabalho permitiu observar benefícios importantes que a simulação apresenta de forma clara e objetiva os pontos que impediriam o fluxo das unidades a serem produzidas. Estas restrições que a simulação apresenta, só seria visualizada com o produto em linha. Outro ponto fundamental da simulação computacional, liga-se ao fato de que a mesma comprovou a veracidade dos valores encontrados no balanceamento, que por si só, não conseguem prever as interferências que podem impactar no bloqueio do item em determinado box.

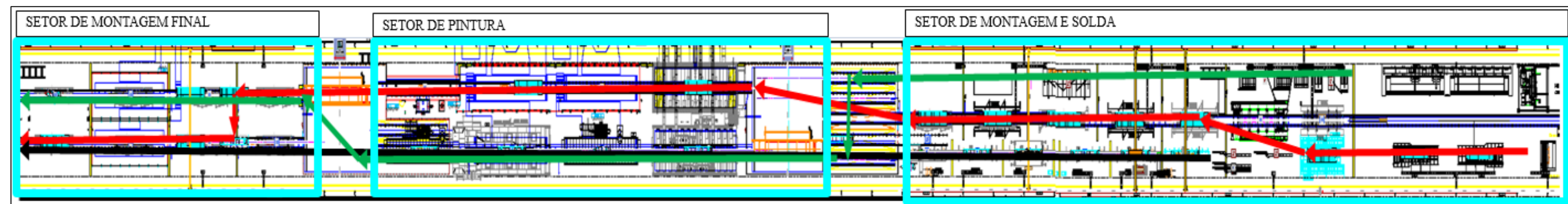
Com a execução das duas atividades, o balanceamento e na seqüência a simulação das linhas produtivas, estas, foram fundamentais para se atingir o objetivo do estudo, fabricar o volume esperado pela organização, com a eficiência também definida, otimizando o número de funcionários para se produzir a quantidade determinada. Com estudo foi possível observar a importância da preparação dos dados, realizar o balanceamento de forma consistente, e desta forma, assegurar que a simulação apresente resultados sólidos e reais sobre o processo produtivo. Desta forma, fica simples e objetiva a validação dos valores, bem como a implementação junto à unidade fabril.

Como próximas etapas, sugere-se a realização de nova tomada de tempos por meio de cronoanálise para se verificar se houve alteração nos tempos de processamento. Após realizar novamente o balanceamento dos postos de trabalho, propondo um aumento na eficiência da planta em 30% do valor atual, que é 40%.

VI. BIBLIOGRAFIA

[1] A. Kassa and K. Balasundaram; “A Simulation Modeling Approach for

- Job Shop Scheduling Problems: Case of Metal Industry,” *International Journal of Science and Research*, vol. 7, pp. 421-425, 2017.
- [2] X. Tian and J. Wang; “The Simulation Optimization for Job-Shop Scheduling Based on Plant Simulation Using Genetic Algorithm,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 217-219, pp 1444-1448, 2012.
- [3] A. Hafezalkotob; H. Ketabian and H. Rahimi, “Balancing the Production Line by the Simulation and Statistics Techniques: A Case Study,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 754-763, 2014.
- [4] M. R. A. Make; M. F. F. A. Rashid and M. M. Razali1, “A review of two-sided assembly line balancing problem,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 89, pp. 1743–1763, 2017.
- [5] R. Askin and M. Zhou, “Uma heurística de estação paralela para a linha de produção de modelos mistos problema de balanceamento,” *International Journal of Research Research*, vol. 35, no. 11, 2014.
- [6] T. Kloud and F. Koblasa, “SOLVING JOB SHOP SCHEDULING WITH THE COMPUTER SIMULATION,” *The International Journal of Transport & Logistics*, vol. 20, no. 11, pp. 7-17, 2018.
- [7] L. S. Dalenogarea et al., “The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance,” *International Journal of Production Economics*, vol. 204, pp. 383-394, 2018.
- [8] P. F. Lamas; T. M. Fernández-Caramés; Ó. B. Novoa, and M. A. Vilar-Montesinos, “A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13358–13375, 2018.
- [9] L. Wang; M. Törngren and M. Onori, “Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 37, pp. 517–527, 2015.
- [10] M. Rülßmann et al., “Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries,” *Boston Consulting Group*, vol. 9, no. 1, pp. 54-89, 2015.
- [11] C. Gaziero and I. Cecconello, “Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production,” *Scientia Cum Industria*, vol. 7, no. 2, pp. 52-67, 2019.
- [12] M. A. Abidi et al., “Contribution of Virtual Reality for Lines Production’s Simulation in a Lean Manufacturing Environment,” *International Journal of Computer Theory and Engineering*, vol. 8, no. 03, pp. 182-189, 2016.
- [13] M. Kikolski, “Identification of production bottlenecks with the use of Plant Simulation software,” *Economics and Management*, vol. 08, pp. 103-112, 2016.
- [14] R. B. M. de Oliveira; V. A. Corrêa and Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes, “Mapeamento do Fluxo de Valor em Um Modelo de Simulação Computacional,” *Revista Produção Online, Florianópolis*, vol. 14, no. 03 pp. 837-861, 2014.
- [15] Z. Zhang et al., “A simulation-based approach for plant layout design and production planning,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 10, pp. 1217–1230, 2019.
- [16] Y. S. Liu et al., “TFT-LCD Module Cell Layout Design Using Simulation and Fuzzy Multiple Attribute Group Decision-Making Approach,” *Applied Soft Computing*, vol. 68, pp. 873-888, 2017.
- [17] A. Nicoletti Junior et al., “Simulação de eventos discretos para análise da disponibilidade fabril em uma linha de envase de bebidas,” *Revista de Ciência & Tecnologia*, vol. 19, no. 37, pp. 81-96, 2016.
- [18] U. Özcan, “Balancing and scheduling tasks in parallel assembly lines with sequence dependent setup times,” *International Journal of Production Economics*, vol. 213, pp. 81-96, 2019.
- [19] J. Pereira and E. A. Miranda, “An exact approach for the robust assembly line balancing problem,” *Omega*, vol. 78, pp. 85-98, 2017.
- [20] D. Correia et al., “Melhorando as linhas de montagem manuais dedicadas a sistemas eletrônicos complexos dispositivos aplicando ferramentas Lean,” *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 663-671, 2018.



Anexo 01: layout fabril