



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

Uso do Plant Simulation para aumento de produtividade através do gerenciador de experimentos

Use of Plant Simulation to increase productivity through the experiment manager

Adriele Andrade Silva^{1, i}
Jorge Antonio Giles Ferrer^{2, ii}
Thiago Tadeu Amici^{3, iii}
Daniel Camusso^{4, iv}

Data de submissão: (25/07/2022) Data de aprovação: (25/10/2022)

RESUMO

Atualmente, a busca por eficiência produtiva e otimização dos recursos faz parte do vocabulário de qualquer negócio, seja grande ou pequeno. Desta maneira, este artigo visa unir conceitos da virtualização de processos aplicada na Indústria 4.0, onde é simulado, a partir de uma situação hipotética, o fluxo completo de um determinado material (produção, armazenamento e atividades de transporte), a fim de realizar o correto dimensionamento de recursos como, por exemplo, quantidade correta de *Automatic Guided Vehicle* (AGV) e tamanho correto de um armazém intermediário ou *buffer*, sendo possível obter-se uma fábrica mais otimizada e com maior desempenho. Para esta tarefa, utilizou-se a ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation* da Siemens, e o resultado alcançado foi um ganho de produtividade de, aproximadamente, 20%.

Palavras-chave: *Plant Simulation*; Simulação; Produtividade; Virtualização; Processos.

¹ Pós-graduando em Gestão de Projetos Aplicada à Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: adrieleandrade871@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: jorge.ferrer@sp.senai.br

³ Mestre em Controle e Automação de Processos e Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: thiago.amici@sp.senai.br

⁴ Engenheiro e Professor Especialista da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

ABSTRACT

Currently, the seek for productive efficiency and resource optimization is part of the vocabulary of any business, whether large or small. Thus, this article aims to unite concepts of process virtualization applied in Industry 4.0, where, from a hypothetical situation, the complete flow of a certain material (production, storage and transport activities) is simulated in order to carry out the correct dimensioning of resources such as, for example, correct amount of Automatic Guided Vehicle (AGV) and correct size of an intermediate warehouse or buffer, making it possible to obtain a more optimized factory and with greater performance. For this task, the Experiments Manager tool was used, an advanced resource available in Siemens Plant Simulation software, and the result achieved was a productivity gain of, approximately, 20%.

Keywords: Plant Simulation; Simulation; Productivity; Virtualization; Process.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Suzek, pode-se afirmar que:

Com a necessidade das indústrias em se ter cada vez mais fábricas inteligentes, enxutas, ágeis e produtivas, surge a manufatura digital onde a modelagem das informações e cenários ajuda no aperfeiçoamento dos processos produtivos. Em ambiente virtual, esses processos são desenhados, simulados e otimizados para se ter linhas mais assertivas (SUZEK, 2017, p.13).

O conceito de manufatura digital permite a realização de testes virtuais do ciclo de desenvolvimento do produto interagindo com todos os meios do processo de produção, como operadores e robôs (SILVA, 2013). Assim, é possível identificar gargalos, problemas relacionados à logística, sequência de ordens de produção, entre outros.

Além disso, é possível analisar, antes da construção e instalação de novas linhas produtivas, se estas apresentam todos os equipamentos e recursos corretamente dimensionados e se atendem ou não a demanda (SOARES, 2013).

Sendo assim, o artigo tem como objetivo principal o aumento de produtividade de um processo produtivo hipotético, dimensionando corretamente os recursos existentes na fábrica através da ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation* da Siemens. Esta ferramenta executa vários experimentos de uma só vez, oferecendo um jeito mais eficaz e confiável de analisar e otimizar um sistema (SMARTPLM, 2020).

1.1 Problema de pesquisa

O modelo estudado trata-se de uma situação hipotética criada para aplicação de melhorias no processo fabril de um determinado produto através da ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation* da Siemens.

O problema abordado diz respeito ao subdimensionamento de recursos da linha, como quantidade ou velocidade incorreta de *Automatic Guided Vehicle (AGV)*, tamanho incorreto

de estoque, grandes variações na movimentação de operadores, falta ou excesso de mão de obra. Além disso, por meio da virtualização e simulação de eventos discretos, serão identificados gargalos, buscando aprimorá-los com a implementação de *buffer* e atingir, desta maneira, um novo patamar de produção fabril.

1.2 Objetivos

Os objetivos são virtualizar um processo produtivo fictício através da simulação de eventos discretos, realizar o correto dimensionamento dos recursos existentes na linha através da ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation*, e obter, assim, um aumento de capacidade produtiva.

Também, deseja-se mostrar a eficiência e agilidade que podem ser obtidas se utilizados *softwares* de virtualização de processos, em relação a métodos tradicionais muitas vezes baseados em tentativas e erros que além de consumirem recursos materiais e humanos, exigem paradas de produção e movimentação de equipamentos sem garantia de atingir a produtividade desejada.

1.3 Justificativa

As empresas de manufatura nacionais e internacionais estão vivendo uma intensa competição devido à evolução tecnológica e outros fatores de mercado (DAVIES *et al.*, s.d., tradução nossa). Todas buscam maiores e melhores níveis de excelência e, conseqüentemente, a longevidade da companhia (OLIVA e KALLENBERG, 2003, tradução nossa).

Através disso, a utilização ou elaboração de ferramentas para aumentar as cadências produtivas vem se tornando cada vez mais importante (CRISTÓVÃO, 2014) pois, conforme Santos (2011, p.14), “é comum que coordenadores, líderes e supervisores de produção ou departamento de engenharia tomem as decisões sobre tarefas e realizem o dimensionamento de recursos na linha a partir, somente, de suas experiências profissionais”.

Desta forma, a utilização da ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation* da Siemens, surge como uma maneira de garantir melhores resultados no dimensionamento e alocação de recursos (SANTOS, 2011), otimizando vários parâmetros de uma só vez com uma precisão de 99%, dependendo do nível de dados e detalhes inseridos no modelo de simulação (BANGSOW, 2010, tradução nossa).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Otimização de produção

Segundo Suzek (2017, p.13), “otimizar a produção é vital e inegociável para assegurar a produtividade, pois uma indústria cada vez mais ágil será capaz de responder em pouco tempo às demandas do mercado, produzindo mais e utilizando menos recursos”.

A produção é a transformação de entradas em saídas através de um conjunto de recursos, sendo eles humanos, físicos, tecnológicos e informativos (SPRAKEL e SEVERIANO

FILHO, 1999) e de acordo com Landmann (2005 apud SOARES, 2013, p. 17), “quanto mais eficiente for feita a conversão de entradas em saídas, mais produtivo é o sistema”.

Assim sendo, uma linha de montagem tende a seguir uma corrente linear de trabalhos (OLIVEIRA, 2013) porém, um projeto de *layout* mal desenvolvido, pode ter grande impacto no bom desempenho de um processo de manufatura e este, por sua vez, pode atrasar e até paralisar (VIEIRA, 2016).

Visando isto, a possibilidade de visualizar o processo em diferentes distribuições resulta na racionalização do espaço de trabalho, minimização da movimentação de materiais e pessoas, e dimensionamento correto dos recursos refletindo, assim, na melhoria do processo e no aumento da capacidade produtiva (TOMPKINS e WHITE, 2003, tradução nossa).

2.2 Modelagem e simulação de eventos discretos

Chama-se de modelagem a possibilidade de representar o comportamento de um sistema ou processo (CARSON, 2004, tradução nossa). Através do modelo de simulação, é possível virtualizar um sistema existente ou não, descrever seu comportamento e prever impactos no seu desempenho (MIYAGI, 2006).

Por meio da modelagem e simulação, pode-se conduzir experimentos, estudar o inter-relacionamento dos diversos componentes do sistema e estimar seu o comportamento futuro sob algumas condições, que pode resultar na criação de novas políticas, melhorando resultados atuais (SANTOS, 2011).

A simulação de eventos discretos está sendo amplamente utilizada e aceita, tornando-se uma ferramenta de auxílio dentro da indústria para avaliar a flexibilidade de um sistema de produção buscando-se, principalmente, aumento de produtividade que é um tema cada vez mais importante. A simulação completa do fluxo de material, incluindo toda a produção, armazenado e transporte é considerada componente chave da fábrica digital (BANGSOW, 2010, tradução nossa).

Para se desenvolver um modelo de simulação, é preciso identificar ou formular um problema, e a quantidade de detalhes depende do objetivo que se quer alcançar (SANTOS, 2011). Porém, o resultado e precisão de um modelo depende da qualidade dos dados de entrada referentes aos equipamentos e recursos existentes na linha (BANGSOW, 2010, tradução nossa). Então, se bem desenvolvido, este modelo pode ser utilizado para investigar uma série de questões processuais, fazendo com que um projeto seja mais eficiente e assertivo sem que, primeiro, haja gastos com alterações físicas (SUZEK, 2017).

2.3 Tecnomatix Plant Simulation

O *Tecnomatix Plant Simulation* é um software desenvolvido pela Siemens para virtualização de processos produtivos, que permite o usuário explorar os aspectos de um sistema e otimizar seu desempenho. Através dele, é possível avaliar diferentes cenários hipotéticos em 2D ou 3D sem que processos existentes sejam afetados ou, quando utilizado para projetos novos, permite obter as características do sistema produtivo através de informações confiáveis que auxiliam nas tomadas de decisões rápidas antes que qualquer componente ou equipamento seja instalado (SANTOS, 2011).

Para modelagem do sistema, o usuário utiliza componentes de biblioteca destinados a negócios específicos como, por exemplo, montagem e desmontagem. Além disso, conta com ferramentas para detecção de gargalos (*Bottleneck Analyzer*), para monitoramento do fluxo de materiais (diagrama de *Sankey*) e para otimização (*Experiment Manager*) (SANTOS, 2011).

Esta última, a ferramenta Gerenciador de Experimentos, suporta o usuário na otimização de vários parâmetros dentro do processo produtivo, como determinação do número correto de transportadores, capacidade correta de um *buffer* e capacidade correta de um sistema de armazenamento, levando em conta vários critérios de avaliação como, por exemplo, estoque reduzido, maior utilização, aumento de rendimento etc. Ela realiza vários experimentos de uma só vez e, normalmente, apresenta uma precisão de 99% em relação aos valores de rendimento alcançados na vida real, mas tudo depende do nível dos detalhes inseridos no modelo de simulação (BANGSOW, 2010, tradução nossa).

A simulação de modelos complexos requer o uso da linguagem *SimTalk*, porém o *software* dá total apoio ao usuário na virtualização de seus processos, apresentando uma extensa lista de exemplos e um ambiente de depuração profissional (BANGSOW, 2010, tradução nossa).

Por fim, comparando o *Plant Simulation* com outras ferramentas de simulação presentes no mercado, é possível observar que a Siemens desenvolveu uma maneira bastante satisfatória de se trabalhar com um modelo de simulação, fornecendo uma gama de ferramentas fáceis de se utilizar e necessárias para analisar e manter eficientes grandes processos produtivos (BANGSOW, 2010, tradução nossa).

3 METODOLOGIA

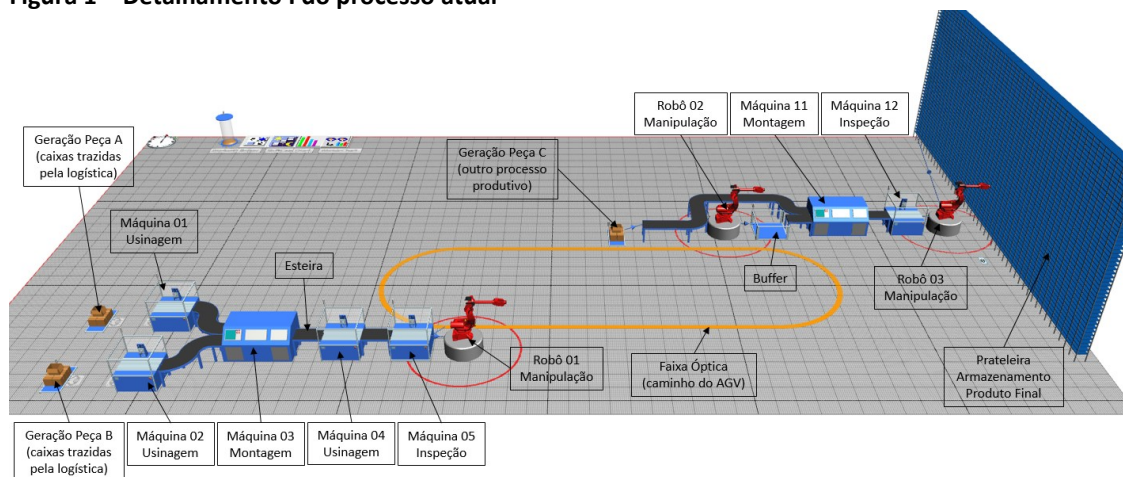
Para realização dos estudos propostos, primeiramente foi definido o *software* a ser utilizado. Neste caso, foi o *Tecnomatix Plant Simulation*. Em seguida, foi criado e desenhado um processo produtivo hipotético composto por maquinário de usinagem, montagem e inspeção, dois operadores para abastecimento de matéria-prima, sistema de transporte de peças através de esteiras e AGV, robôs para abastecer e retirar peças do AGV, robô para armazenamento do produto final e *buffer*, um pulmão de peças para evitar perda de produção.

O processo citado é ilustrado nas figuras 1 e 2, e apresenta a seguinte sequência operativa:

- a) O operador A abastece a peça A na máquina 01;
- b) O operador B abastece a peça B na máquina 02;
- c) A máquina 01 processa a peça A por 1 minuto e 15 segundos;
- d) A máquina 02 também processa a peça B por 1 minuto e 15 segundos;
- e) Após processadas, as peças A e B se deslocam por esteiras até a máquina 03;
- f) A máquina 03 se trata de um processo de montagem, tem um tempo de ciclo de 1 minuto e 45 segundos, e a junção da peça A mais a peça B dá origem à peça AB;
- g) Após montada, a peça AB é transferida por esteira até a máquina 04 onde é processada por mais 1 minuto e depositada em outra esteira;
- h) A máquina seguinte é a 05, ela tem um tempo de ciclo de 3 minutos e finaliza a primeira parte do fluxo produtivo;

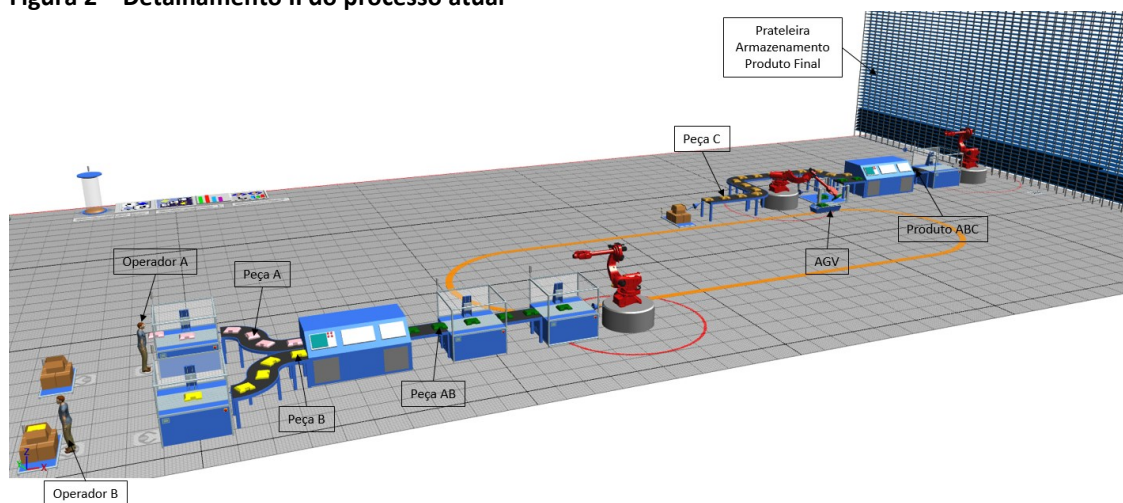
- i) Finalizada essa primeira parte, o robô 01 retira a peça AB da máquina 05 e deposita no AGV;
- j) O AGV, por sua vez, transporta uma quantidade de 6 peças até o robô 02 que dá início a segunda parte do processo;
- k) O robô 02 retira as peças do AGV e as depositam em um *buffer*;
- l) Do *buffer*, a peça AB se desloca através de uma esteira até a máquina 11;
- m) A máquina 11 apresenta um tempo de ciclo de 1 minuto e 45 segundos, e realiza a montagem da peça AB com a peça C, esta vem de uma outra linha de produção;
- n) Após montado, o produto ABC se desloca através de esteira até a máquina 12 onde é processado por mais 1 minuto e 5 segundos;
- o) Assim, o processo produtivo finaliza. O robô 03 retira o produto final da máquina 12 e guarda em uma prateleira que é esvaziada para envio ao cliente toda sexta-feira, após o término da jornada de trabalho semanal.

Figura 1 – Detalhamento I do processo atual



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2 – Detalhamento II do processo atual



Fonte: Elaborado pelo autor

Para que a situação fictícia pudesse se aproximar ao máximo da realidade vivida nas empresas, adotou-se o conceito de que todas as máquinas estão sujeitas às falhas. No quadro 1, é indicado os valores configurados em cada operação.

Quadro 1 – Falhas configuradas

Máquina	Intervalo de Falha	Tempo de Máquina Parada
01	A cada 13 horas	1 hora
02	A cada 16 horas	1 hora e 15 minutos
03	A cada 11 horas	1 hora e 50 minutos
04	A cada 18 horas	1 hora e 30 minutos
05	A cada 12 horas	1 hora e 30 minutos
11	A cada 17 horas	2 horas e 40 minutos
12	A cada 19 horas	1 hora e 15 minutos

Fonte: Elaborado pelo autor

Também, inseriu-se no modelo um calendário que determinou os horários de trabalho e pausas para refeições. A jornada de trabalho especificada é representada na figura 3 e descrita a seguir:

- Primeiro turno:** de segunda-feira a sexta-feira, das 06:00 às 14:00, com pausa de 15 minutos para café e 1 hora para almoço;
- Segundo turno:** de segunda-feira a sexta-feira, das 14:00 às 22:00, com pausa de 15 minutos para café e 1 hora para jantar;
- Terceiro turno:** de segunda-feira a sexta-feira, das 22:00 às 06:00, com pausa de 15 minutos para café e 1 hora para ceia.

Figura 3 – Jornada de trabalho

Shift	From	To	M.	T.	W	T.	Fr	S.	S.	Pauses
1 Shift-1	6:00	14:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9:00-9:15; 12:00-13:00
2 Shift-2	14:00	22:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18:15-18:30; 20:30-21:30
3 Shift-3	22:00	6:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	00:00-01:00; 04:00-04:15

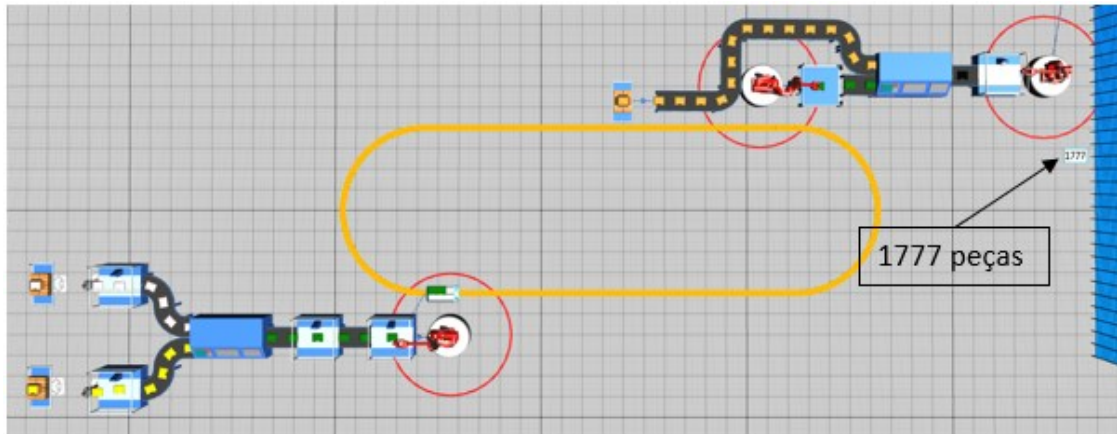
Fonte: Elaborado pelo autor

As melhorias e otimização do sistema foram realizadas por meio da ferramenta Gerenciador de Experimentos e através da análise dos gráficos gerados após cinco dias de simulação, período que diz respeito à jornada de trabalho semanal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo atual produz, semanalmente, um total de 1.777 peças, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 – Produção atual



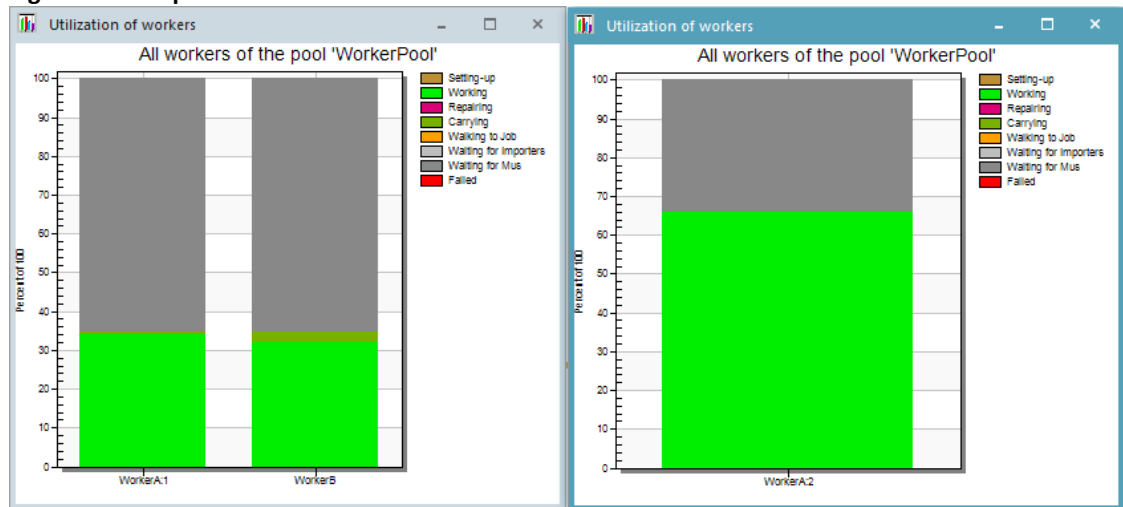
Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira melhoria implementada foi quanto ao excesso de mão de obra enxergado. Para isso, utilizou-se a ferramenta Gráfico do Trabalhador. Se trata de um recurso existente no *software* e sua configuração é extremamente simples, basta o usuário selecionar o ícone da ferramenta Conjunto de Trabalhadores presente no modelo de simulação e arrastá-lo até o ícone da ferramenta Gráfico do Trabalhador. Para exibir o gráfico em questão, é necessário simular o processo e, em seguida, clicar na opção Mostrar Gráfico.

O gráfico gerado considerou a simulação de uma semana de trabalho e, analisando-o, notou-se que ambos os operadores passam mais de 60% do tempo ociosos, aguardando peça para abastecer as máquinas 01 e 02. Desta maneira, eliminou-se uma mão de obra e realizou-se uma realocação das caixas, trazendo-as para mais próximo das máquinas. Simulando novamente o processo, observou-se que trabalhando com apenas um operador, o tempo de ociosidade diminuiu para 35% e, também, se eliminou o tempo gasto com descolamento.

No comparativo mostrado na figura 5, a parte cinza dos gráficos representa a porcentagem de tempo de espera por peça, a parte verde-escura o deslocamento gasto com a ação de retirar a peça da caixa e abastecê-la na máquina, e a parte verde-claro o tempo efetivo de trabalho do operador.

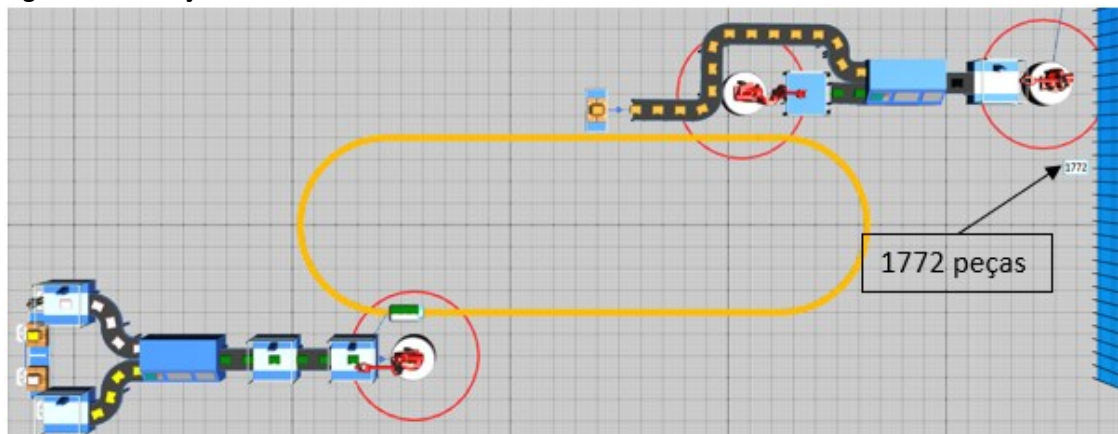
Figura 5 – Comparativo mão de obra atual versus mão de obra otimizada



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, notou-se que a redução de uma mão de obra no processo de abastecimento de máquinas, praticamente, não impacta no resultado da produção semanal. Produz-se, somente, 5 peças a menos, conforme apresentado na figura 6.

Figura 6 – Produção com a mão de obra otimizada



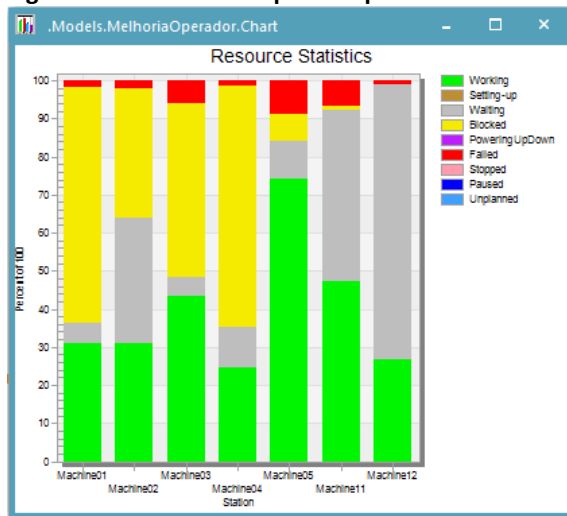
Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, analisou-se os dados pertinentes ao maquinário presente fazendo o uso da ferramenta Gráfico. Para configurá-la, também é necessário o procedimento de selecionar e arrastar ícones. No caso, o usuário precisa selecionar o ícone de cada máquina do modelo de simulação e arrastá-lo até o ícone da ferramenta Gráfico. Irá abrir uma janela para ser estabelecido o tipo de estatística que se deseja analisar. Nesta aplicação, a opção selecionada foi Estatística de Recursos.

O gráfico em questão, mostrado na figura 7, também é exibido ao clicar na opção Mostrar Gráfico após a simulação do processo e, descrevendo-o, a parte vermelha indica a porcentagem de tempo em que as máquinas ficaram paradas por falha, a parte amarela o tempo em que as máquinas ficaram impedidas de transferir peça para a outra estação devido esta estar ocupada, a parte cinza o tempo de espera por peça, e a parte verde claro o tempo efetivo de trabalho de cada máquina.

Através dele, foi possível observar que a máquina 05 apresentou o maior tempo de ciclo, configurando-se o gargalo da linha.

Figura 7 – Dados do maquinário presente



Fonte: Elaborado pelo autor

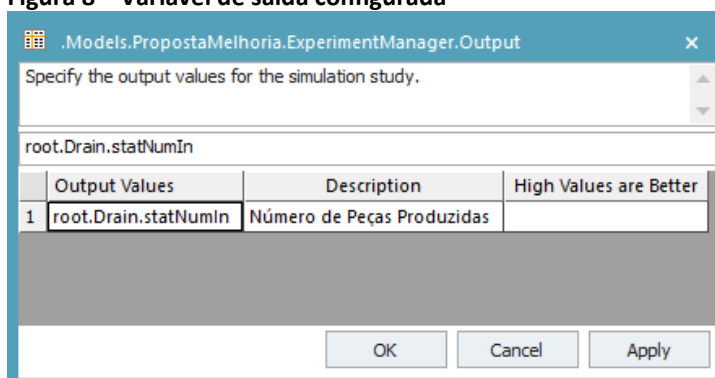
Para melhorar o gargalo apresentado, substituiu-se a esteira instalada entre as máquinas 04 e 05 por um *buffer*. Mas qual seria o tamanho correto deste *buffer* para atender o fluxo produtivo de uma forma eficiente? Essa mesma dúvida também se aplica ao *buffer* localizado ao lado do robô 02, à quantidade de AGV e à velocidade que esse equipamento trabalha. Os valores encontrados no sistema atual são indicados abaixo:

- O *buffer* instalado ao lado do robô 02 possui uma capacidade de armazenar 4 peças;
- O sistema trabalha com apenas 1 AGV a uma velocidade de 1,5 m/s.

Para efeito de experimento, a prateleira de armazenamento de produto final foi substituída por um dreno para que não houvesse paralisação da simulação devido à uma possível utilização da ocupação máxima de armazenagem, e a ferramenta utilizada para responder à questão levantada foi o Gerenciador de Experimentos.

Configurou-se a variável *root.Drain.statNumIn*, ou seja, o número de peças produzidas como variável de saída que se deseja monitorar. Esta variável é mostrada na figura 8.

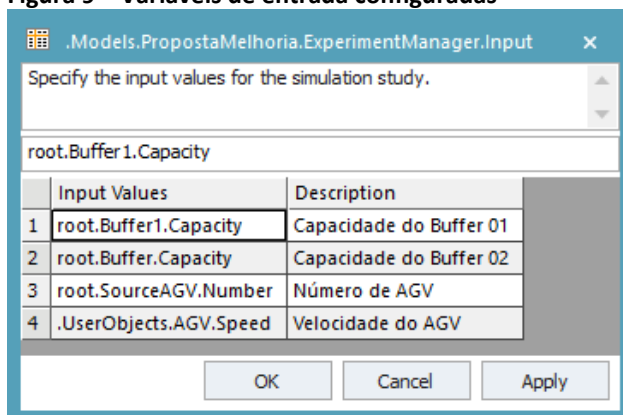
Figura 8 – Variável de saída configurada



Fonte: Elaborado pelo autor

As variáveis de entrada inseridas são apontadas na figura 9. São o *root.Buffer1.Capacity* e o *root.Buffer.Capacity* que dizem respeito à capacidade de armazenamento de cada *buffer*, o *root.SourceAGV.Number* que se trata do número de AGVs necessários, e o *.UserObjects.AGV.Speed* que determina a velocidade que esse equipamento necessita trabalhar.

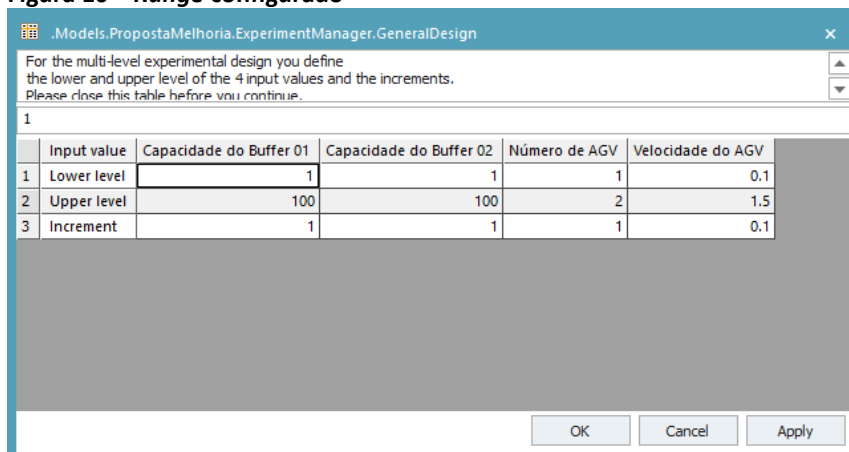
Figura 9 – Variáveis de entrada configuradas



Fonte: Elaborado pelo autor

A ferramenta realizou, de uma só vez, 300.000 experimentos, considerando todas as possibilidades dentro do *range* estabelecido. O *range* estabelecido, conforme indicado na figura 10, para a capacidade dos *buffers* foi de 1 a 100, para a quantidade de AGVs foi de 1 a 2, e para velocidade de trabalho do AGV foi de 0,1 a 1,5 m/s.

Figura 10 – Range configurado



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final dos experimentos, gerou-se o relatório mostrado na figura 11, com todos os cenários testados e analisando-o, observou-se que os valores viáveis que acarretariam um aumento de produtividade significativo são os seguintes:

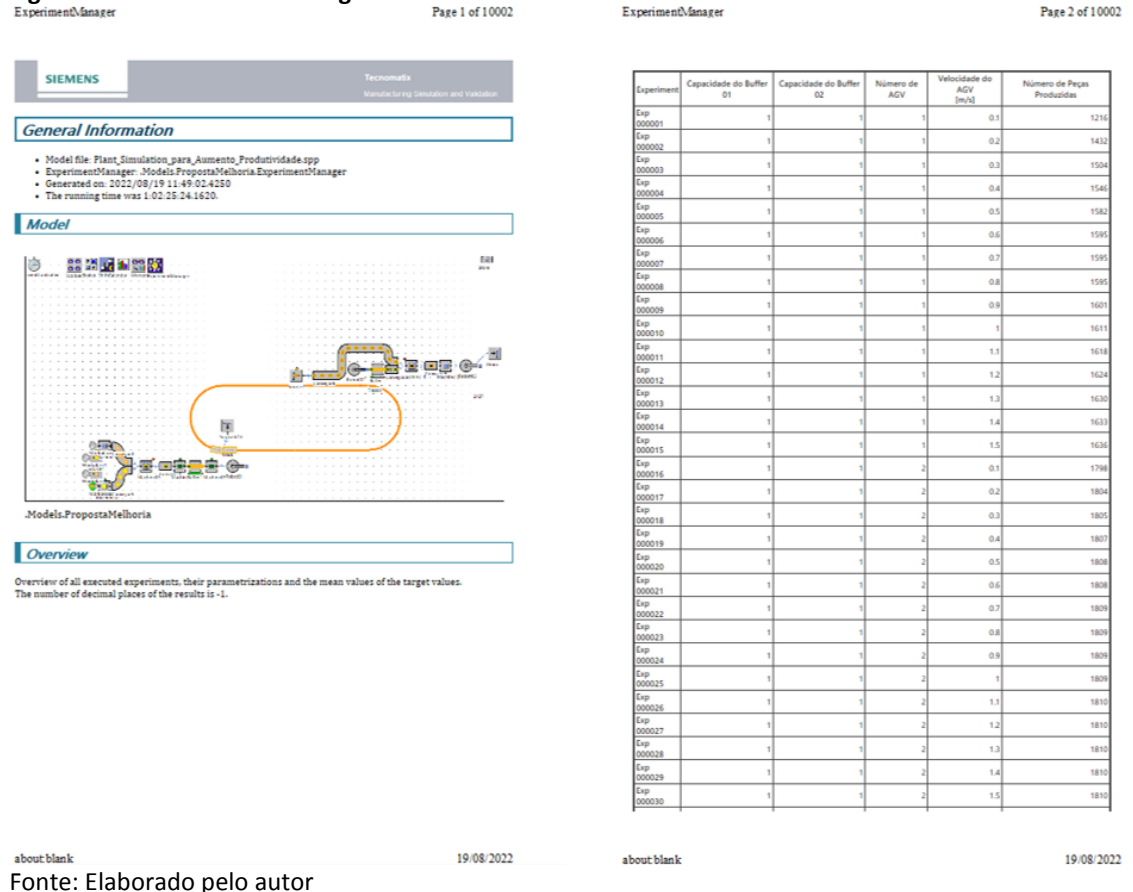
- Capacidade de armazenamento do *buffer* instalado entre as máquinas 04 e 05:** 55 peças;
- Capacidade de armazenamento do *buffer* instalado ao lado do robô 02:** 70 peças;
- Quantidade necessária de AGV:** 1;

Notou-se que o investimento na compra de mais um equipamento não resultaria em um ganho de produção significativo.

d) **Velocidade de trabalho necessária para o AGV: 1 m/s.**

Notou-se que entre 1 e 1,5 m/s o processo não apresenta mais aumento de produtividade, então, pode-se configurar a velocidade de trabalho para 1 m/s, o que proporciona uma redução no esforço executado pelo equipamento.

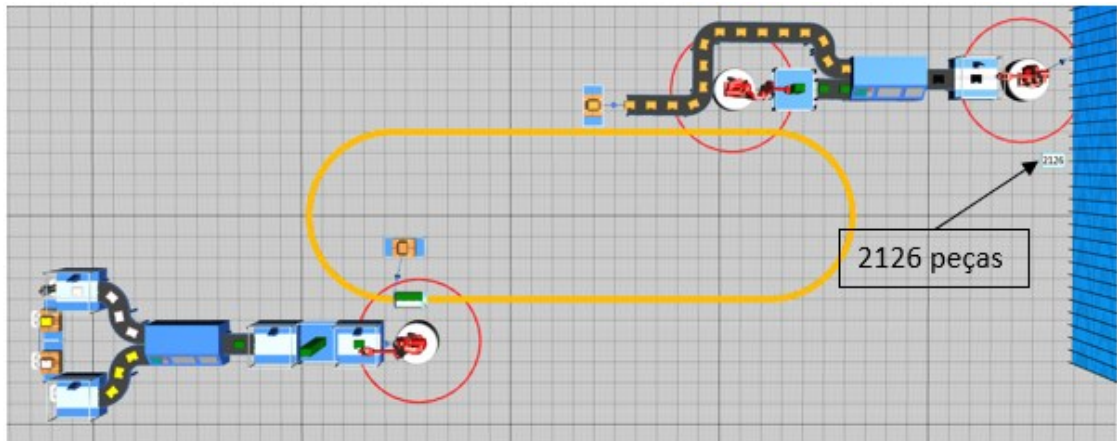
Figura 11 – Parte do relatório gerado



Fonte: Elaborado pelo autor

Aplicando no modelo de simulação as melhorias citadas têm-se, no final de uma semana, uma produção de 2.126 peças, conforme apresentado na figura 12, um aumento de, aproximadamente, 20% em relação às 1.777 peças conseguidas sem a otimização.

Figura 12 – Produção otimizada



Fonte: Elaborado pelo autor

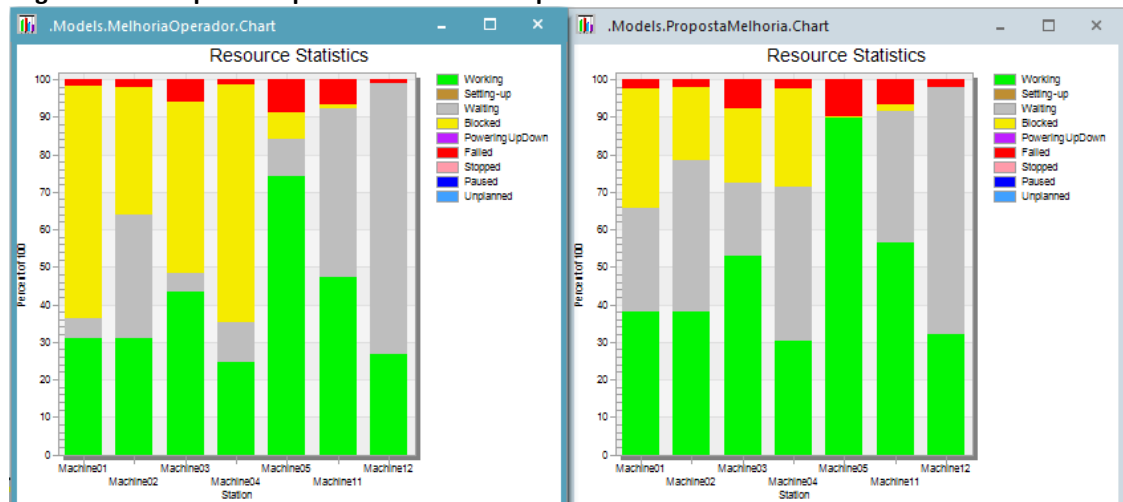
Finalizando, no quadro 2 e na figura 13 são citados os valores finais obtidos na otimização do processo produtivo estudado:

Quadro 2 – Resultado obtido

Máquina / Recurso	Tempo de Bloqueio	Tempo de Trabalho
01	Diminuição de 30%	Aumento de 7%
02	Diminuição de 14%	Aumento de 7%
03	Diminuição de 27%	Aumento de 9%
04	Diminuição de 27%	Aumento de 6%
05	Diminuição de 7%	Aumento de 4%
11	-	Aumento de 8%
12	-	Aumento de 4%
Operadores	Eliminação de 1 mão de obra	
Aumento de, aproximadamente, 20% na produção semanal		

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Comparativo processo atual versus processo otimizado



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONCLUSÃO

No estudo e modelo de simulação desenvolvidos, pôde-se atender o objetivo de aumentar a capacidade produtiva do processo de produção proposto. Inicialmente, tinha-se um sistema que produzia, semanalmente, um total de 1.777 peças e aplicando-se as ações de melhoria descritas, foi possível fazer com que esse mesmo processo produzisse, no final de uma semana, 2.126 peças, um acréscimo de, aproximadamente, 20%.

A virtualização de processos produtivos e, principalmente, a ferramenta Gerenciador de Experimentos, recurso avançado disponível no *software Plant Simulation*, mostraram ter grande importância na assertividade quanto ao dimensionamento de recursos. Por meio dela, foi possível estabelecer a quantidade e velocidade correta de AGV, 1 equipamento se movendo a 1m/s, e o tamanho correto dos armazéns intermediários, 55 peças para o instalado entre as máquinas 04 e 05, e 70 peças para o instalado ao lado do robô 02. Além disso, o *software* permitiu identificar o excesso de mão de obra e o gargalo do processo aplicando-se, então, medidas de melhoria que, no caso, foi a implementação de um *buffer*.

Com a aplicação das alterações propostas no ambiente virtual, a modelagem trouxe uma percepção clara de como o sistema funcionaria em uma situação real, o que facilita e auxilia, antes que qualquer investimento ou alteração física na planta, a tomada de decisão de uma empresa, refletindo, assim, não somente em ganhos produtivos, mas também em ganhos financeiros.

REFERÊNCIAS

BANGSOW, Steffen. **Manufacturing simulation with plant simulation and simtalk**. Berlin: Springer, 2010. *E-book*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5620121/mod_resource/content/1/Livro.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

CARSON, John S. **Introduction to modeling and simulation**. 2004. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1371297>. Acesso em: 23 set. 2022.

CRISTÓVÃO, Carlos Alberto Mendes. **Análise e otimização de uma linha de produção**. 2014. Tese (Mestrado em Tecnologias Gráficas) – Escola de Design, Comunicação e Artes, Instituto Superior de Educação e Ciências, Lisboa, 2014. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/19087/1/Tese_An%C3%A1lise%20e%20otimizac%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma%20linha%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o_%20carlos.pdf. Acesso em: 25 mai. 2022.

DAVIES *et al.* **Green infrastructure planning guide**. Disponível em: http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/resources/North_East_Green_Infrastructure_Planning_Guide.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

LANDMANN, Raul. Um modelo heurístico para programação da produção em fundições com utilização da lógica fuzzy. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. *In*: SOARES, Bernardo Bregoli. **A utilização do modelo de simulação computacional para análise e modificação de um sistema de produção de pinturas automotivas**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/798/Dissertacao%20Bernardo%20Bregoli%20Soares.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 mai. 2022.

MIYAGI, Paulo E. **Introdução a simulação discreta**. 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4122712/course/section/1030600/PMR3305-ApostilaSimulacao.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

OLIVA, Rogelio; KALLENBERG, Robert. Managing the transition from products to services. **International Journal of Service Industry Management**, v. 14, n. 2, p 160-172, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235271845_Managing_the_transition_from_products_to_services. Acesso em: 30 set. 2022.

OLIVEIRA, Rafael Piretti de. **Método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes: uma abordagem a partir do sistema Toyota de produção e da teoria das restrições**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3222/Rafael+Pieretti+de+Oliveira.pdf;jsessionid=6BBE8DD0BD53AFCE125C7D84B3319676?sequence=1>. Acesso em: 23 set. 2022.

SANTOS, Eliton Smith dos. **Simulação computacional no auxílio à tomada de decisão nos processos industriais: utilizando a ferramenta tecnomatix plant simulation 9.0**. 2011. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/4051/6/Dissertacao_SimulacaoComputacionalAuxilio.pdf. Acesso em: 24 mai. 2022.

SILVA, Cláudio Lopes da. **O uso do conceito fábrica digital e manufatura enxuta para analisar arranjos físicos de produção**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2013. Disponível em: http://www.unimep.br/scpm/Publicacoes/Diss_Claudio_Lopes_Silva.pdf. Acesso em: 24 mai. 2022.

SMARTPLM. **Otimizando recursos com o experiment manager – plant simulation smartplm**. 2020. Disponível em: <http://smartplm.com.br/noticias/post/otimizando-recursos-com-o-experiment-manager-plant-simulation-smartplm>. Acesso em 25 mai. 2022.

SOARES, Bernardo Bregoli. **A utilização do modelo de simulação computacional para análise e modificação de um sistema de produção de pinturas automotivas**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/798/Dissertacao%20Bernardo%20Bregoli%20Soares.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 mai. 2022.

SPRAKEL, Eurico Barreto; SEVERIANO FILHO, Cosmo. **A evolução dos sistemas de pcp sob a ótica da engenharia de produção**. 1999. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0654.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

SUZEK, Higor. **Estudo de produtividade em um sistema de produção por meio da simulação computacional de eventos discretos**. 2017. Tese (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/1857/2/2017HigorSuzek.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2022.

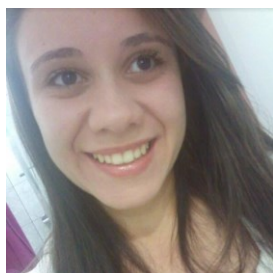
TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. **Facilities planning**. USA: John Wiley & Sons, Inc. 3ª edição. 2003.

VIEIRA, Kellen Bicho. **Utilização de software comercial para a otimização de fluxo de produção**. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia de Processos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <https://ppgep.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2016-PPGEP-MP-KellenBichoVieira.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Prof. Dr. Jorge Antonio Giles Ferrer pela orientação, apoio e empenho voltado à elaboração deste artigo. Além disso, reconheço a dedicação dos demais docentes que, com excelência e qualidade técnica, realizaram valiosas contribuições à aprendizagem de cada aluno. Por fim, deixo minhas palavras de gratidão a meus pais e familiares, estes sempre acreditaram na minha capacidade e não pouparam esforços pela minha educação.

SOBRE OS AUTORES

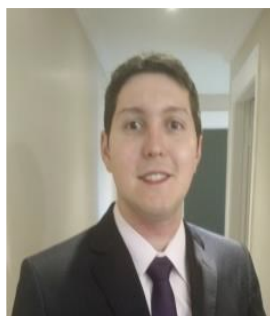
i ADRIELE ANDRADE SILVA

Possui formação no CAI - Eletricista de Manutenção pelo SENAI "A. Jacob Lafer" onde teve seu esforço reconhecido ao receber dois prêmios oferecidos pela instituição, no curso Técnico em Eletrônica pela ETEC "Júlio de Mesquita", e em Engenharia Eletrônica pelo Centro Universitário Fundação Santo André. Trabalhou como Técnica em Eletroeletrônica na empresa Companhia Brasileira de Cartuchos e, atualmente, está cursando MBA em Gestão de Projetos Aplicados à Inovação em Indústria 4.0 no SENAI "Armando de Arruda Pereira". Foi Estagiária no setor de Robótica da Comau, trabalhando com propostas técnicas-comerciais e tendo vivência com robôs industriais e educacional. Atualmente, é Analista de Métodos de Processos na Comau, onde desenvolve documentações técnicas.

ii JORGE ANTONIO GILES FERRER

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Engenheiro Mecânico pela Pontificia Universidad Católica del Perú. Possui Licenciatura plena em pedagogia para educação profissional em ensino médio, pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. Atualmente é docente da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica em São Caetano do Sul SP, onde ministra disciplinas no Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica e na pós-graduação na área de Gestão de Projetos e Produção (Lean Manufacturing e Virtualização de Sistemas Produtivos). É membro do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior do Ministério de Educação do Brasil - MEC e Avaliador do Projeto de Formação Profissional Dual em Mecatrônica da Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha.

iii THIAGO TADEU AMICI



Ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 nas modalidades presencial e EAD, MBA, e nas graduações em Tecnologia em Mecatrônica e Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confecção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT.

iv DANIEL CAMUSSO



Mestrando Profissional pela Universidade de Taubaté - UNITAU. Pós-Graduado em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Pós-Graduado em Engenharia Automobilística pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI (2000). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systemes em Paris - França. Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Atualmente é docente no curso Técnico em Mecatrônica pela Escola SENAI Armando de Arruda Pereira. Foi docente do curso Superior "Tecnologia Mecatrônica Industrial" pela Faculdade SENAI e do curso de "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia. Também docente do curso de especialização de CAD/CAE para Engenheiros de Países da América Latina (Convênio Brasil JICA Japan International Cooperation Agency). Participação no projeto Bleriot, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França. Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de novos projetos para a indústria automobilística, utilizando o software CATIA e NX.