

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSÉ HENRIQUE DA COSTA QUEIROZ GONZALEZ

**VIRTUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS EM PLANT
SIMULATION: ESTUDO DE CASO EM SETOR DE LENTES NO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS**

MANAUS

2021

JOSÉ HENRIQUE DA COSTA QUEIROZ GONZALEZ

**VIRTUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS EM PLANT
SIMULATION: ESTUDO DE CASO EM SETOR DE LENTES NO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Kuwahara.

MANAUS

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

G643v Gonzalez, José Henrique da Costa Queiroz
Virtualização e simulação de processos produtivos em Plant Simulation:
estudo de caso em setor de lentes no Polo Industrial DeManaus / José
Henrique da Costa Queiroz Gonzalez . 2021
76 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Nelson Kuwahara
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Virtualização. 2. Otimização. 3. Pesquisa Operacional. 4.
Simulação. I. Kuwahara, Nelson. II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

JOSÉ HENRIQUE DA COSTA QUEIROZ GONZALEZ

**VIRTUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS EM PLANT
SIMULATION: ESTUDO DE CASO EM SETOR DE LENTES NO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em: 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Prof. Dr. Nelson Kuwahara – Orientador

Prof. Dr. Joaquim Maciel da Costa Craveiro – Membro Interno

Prof. Dr. Thiago Maciel Neto – Membro Externo

Dedico este trabalho aos meus pais Flávio Gonzalez e Leila Gonzalez, que são minha maior fonte de inspiração, que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em busca dos meus sonhos e a quem sou eternamente grato por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e por todas as conquistas alcançadas.

Aos meus pais Flávio e Leila Gonzalez que estão ao meu lado e me dão o alicerce necessário em todos os momentos da minha vida. Agradecimento àqueles sem os quais eu não seria quem eu sou hoje e que são responsáveis por todo o meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional.

À minha família que me concede apoio e motivação em todos os momentos. Em especial aos meus avós Miguel, Rozilda, Ieda (*in memoriam*) e Ramão (*in memoriam*), nos quais sempre me espelhei e foram contribuintes fundamentais na formação do meu caráter. Aos meus tios e primos.

Ao meu orientador Nelson Kuwahara que aceitou o convite para a orientação deste trabalho e que forneceu o suporte necessário para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas por todos os ensinamentos transmitidos durante o curso.

A Kethllen Nascimento pelo apoio e parceria durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante esta jornada do Curso de Mestrado.

Aos colegas de trabalho da companhia que serviu como objeto de estudo desta dissertação.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com o desenvolvimento desta dissertação.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano. Mas o que seria o oceano se não infinitas gotas?”

Isaac Newton

RESUMO

A melhoria contínua é uma prática que se faz muito presente no cotidiano industrial e nos processos produtivos, e é fundamental que seja aplicada com um time multidisciplinar engajado para tal fim, uma vez que existem, nos processos atuais, constantes mudanças, justificadas por diferentes demandas e oscilações de mercado, bem como implementações de novos produtos. Neste contexto, a otimização de um processo industrial se faz fundamental para a garantia da qualidade e estabilidade dos produtos ali desenvolvidos, bem como para a manutenção da corporação no âmbito competitivo do mercado. Partindo deste pressuposto o presente trabalho busca propor um modelo para tomada de decisão em linha de produção em uma indústria do ramo óptico do Polo Industrial de Manaus, modelo este obtido por meio da virtualização, de modo que se tenha a modelagem matemática e computacional e, conseqüente, simulação deste processo. Este objetivo será norteado pelos seguintes objetivos específicos: I) Revisar sistematicamente a bibliografia relacionada a virtualização e comissionamento virtual; II) Analisar globalmente o processo de uma linha de produção da fábrica e coletar informações para a construção do modelo matemático e computacional; III) Modelar e virtualizar os sistemas produtivos na ferramenta *Plant Simulation*™; IV) Obter um modelo para simulações, análise de intervenções e planejamento da empresa. A revisão das literaturas será o alicerce principal para continuidade da pesquisa e utilizar-se-ão *Softwares* de simulação discreta, visando sempre o melhor custo/benefício de modo que haja a elevação na satisfação dos clientes e a redução das variabilidades e custos operacionais. O principal resultado obtido foi um modelo virtualizado da linha de produção que apresenta uma pequena diferença de 1,07% se comparado com o modelo real.

PALAVRAS- CHAVE: Virtualização; Otimização, Pesquisa Operacional, Simulação.

ABSTRACT

Continuous improvement is a practice that is present in industrial daily routine and production processes, and it must be applied with a multidisciplinary team engaged for this purpose, since there are constant changes in nowadays processes, justified by different demands and market fluctuations, as well as new product implementations. In this context, the optimization of an industrial process is essential to ensure the quality and stability of the products developed there, as well as to keep the corporation in the competitive market level. Based on this assumption, the present work seeks to propose a model for decision-making in a production line from an optical branch industry of the Industrial Pole of Manaus. This model was obtained through virtualization, supported by a mathematical and computational modeling and with the consequent simulation of this process. This objective will be guided by the following specific objectives: I) Perform a systematic review of the bibliography related to virtualization and virtual commissioning. II) Globally analyze the process of a factory's production line and collect information for the construction of the mathematical and computational model. III) Model and virtualize production systems in the Plant Simulation TM. IV) Obtain a model for simulations, intervention analysis and company planning. The literature review will be the main foundation for the continuity of the research. Discrete simulation software will be used, seeking the best cost/benefit so that there is an increase in customer satisfaction and a reduction in variability and operating costs. The main result obtained was a virtualized model of the production line that presents a small difference of 1.07% if compared to the real model.

KEYWORD: Virtualization; Optimization; Operational Research; Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Revoluções Industriais	18
Figura 2 - Características da Indústria 4.0	18
Figura 3 - Componentes para uma indústria virtual Fonte:	20
Figura 4 - Comparação entre abordagem tradicional e a nova abordagem de comissionamento	22
Figura 5 – Esquema de modelo real para virtual	23
Figura 6 - Fluxograma pilares para simulação.	25
Figura 7 - Estrutura para continuidade digital.	26
Figura 8 - Análise de Rede e Densidade - Tecnomatix Plant Simulation e Arena.....	29
Figura 9 - Comparativo entre as redes do Plant Simulation, a esquerda, e do Arena, a direita.	29
Figura 10 - Publicações por ano - Base Scopus.....	30
Figura 11 - Layout e gráficos gerados pelo Tecnomatix Plant Simulation.	30
Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos adotados.....	37
Figura 13 - Capacidade e Tempo de Ciclo por Máquina.....	39
Figura 14 - Tempo de ciclo e distribuição estatística por máquina	40
Figura 15 - Linha modelada no Tecnomatix Plant Simulation com as indicações de cada componente utilizado.....	44
Figura 16 - Simulação com parâmetros de MTBF, MTTR, Manutenção preventiva e parada programada semanal.	45
Figura 17 – Gráfico de utilização por equipamento	45
Figura 18 - Gráfico de comparativo mensal entre valores obtidos por simulação e produção real	46
Figura 19 - Gráfico de comparativo semanal entre valores obtidos por simulação e produção real	47
Figura 20 – Distribuição Diária de Produção	47

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Evolução das aplicações das simulações.....	24
Tabela 2 - Dados de MTTR e MTBF por máquina e por mês.....	40
Tabela 3 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Fevereiro/2020	41
Tabela 4 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Março/2020	42
Tabela 5 - Descrição de atividades de calendário produtivo	42
Tabela 6 - Componentes utilizados do Toolbox do Plant Simulation	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem-Máquina
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
PIM	Polo Industrial de Manaus
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
TI	Tecnologia da Informação
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
VMS	<i>Virtual Manufacturing Systems</i>

SUMÁRIO

1.	Introdução	13
1.1.	Problematização.....	14
1.2.	Delimitação do estudo	14
1.3.	Objetivos.....	15
1.3.1.	Objetivo Geral	15
1.3.2.	Objetivos específicos	15
1.3.3.	Justificativa.....	15
2.	Referencial Teórico	17
2.1.	Indústria 4.0	17
2.2.	Virtualização.....	19
2.3.	Virtualização e Simulação discreta.....	20
2.3.1.	Tecnomatix Plant Simulation	27
2.4.	Otimização.....	31
2.5.	Sistemas SCADA para coleta de dados	31
2.6.	Estudo de Tempos e Métodos e Modelagem Matemática.....	32
3.	Metodologia	35
3.1.	Fundamentação	35
3.2.	Procedimentos	36
3.3.	Coleta e Tratamento dos Dados.....	37
3.4.	Validação dos resultados	38
4.	Estudo de Caso – Polo Industrial de Manaus.....	39
4.1.	Validação dos dados	46
5.	Conclusão.....	49
6.	Contribuições	51
6.1.	Contribuições Acadêmicas	51
6.2.	Contribuições Econômicas	51
6.3.	Contribuições Sociais	51
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXO A – ARTIGOS UTILIZADOS NA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	59

1. Introdução

O mundo está em constante evolução, desta forma os produtos e serviços devem acompanhar e também oferecer constante evolução, de modo que as necessidades da população sejam atendidas. Assim também é garantida a concorrência com as demais empresas, haja vista que uma empresa que não se adapte ao mercado é deixada para trás e pode ficar estagnada no tempo, o que pode trazer riscos ao futuro da empresa.

Neste contexto surge o conceito de Indústria 4.0, que segundo Antunes et al. (2018) compõe uma nova gama de tecnologias, as quais irão abrir novos horizontes para a indústria, de modo a torná-la mais eficiente, modernizando processos, amplificando a qualidade e reduzindo tempos de entregas.

Os processos produtivos necessitam de constantes otimizações e melhorias que tragam aumento de produtividade e redução de custos operacionais. Além da essencial manutenção dos requisitos de qualidade exigidos pelo cliente e estabilidade dos bens produzidos. No âmbito da Indústria 4.0 Tay et al. (2018) afirmam que há uma apresentação através da mudança geral pela digitalização e automação de todas as partes de uma empresa e completam mostrando que grandes companhias tornar-se-ão mais competitivas ao aceitar o conceito 4.0. Os autores explicam também que os fabricantes poderão comunicar-se com os computadores, além de apenas operá-los.

Um processo produtivo está sempre aberto a melhorias e a engenharia se faz presente no que diz respeito às análises de viabilidade, além da implementação e verificação dos resultados efetivos frente aos propostos.

Para a definição do escopo de uma melhoria deve-se definir claramente os problemas existente, as respectivas causas e suas possíveis resoluções. Desta forma, será possível estipular os ganhos, avaliando se o investimento requerido é viável e, posteriormente, mensurar os ganhos reais alcançados.

Toda e qualquer mudança a ser realizada em um processo gera custos, os quais devem ser reduzidos, uma vez que uma mudança mal planejada pode acarretar em prejuízos que vão além do tolerável.

Com o avanço da informática tem-se, atualmente, uma oportunidade ímpar que auxilia neste planejamento. Trata-se da virtualização e consequente simulação de um processo, ou seja, o comissionamento virtual de processos industriais.

Este trabalho está dividido em 6 (seis) seções. No Capítulo 1, está apresentada a introdução da pesquisa seguida da problematização e das delimitações do estudo, além dos

objetivos e justificativas. No Capítulo 2 será realizada a revisão da literatura, onde serão abordadas as referências adotadas durante toda a realização deste trabalho. No Capítulo 3 a metodologia da pesquisa será apresentada. No Capítulo 4 estão apresentadas as discussões sobre os resultados. No Capítulo 5 estão presentes as conclusões deste trabalho. E no Capítulo 0 estão as referências utilizadas na elaboração desta pesquisa.

1.1. Problematização

Diante da implementação de uma nova linha de produção, faz-se necessário que os novos processos pertencentes à linha sejam analisados na busca de oportunidades de melhorias, de modo a elevar a produtividade, consolidar os resultados e garantir o retorno do investimento realizado, além da equalização da nova linha implementada com demais linhas já estáveis em outras plantas industriais.

Ademais às oportunidades de melhoria, um processo está em constante evolução e mudança, necessitando que haja uma ferramenta que permita que os resultados destas modificações sejam materializados previamente à realização efetiva das mesmas.

O primeiro passo para este processo dá-se a partir da virtualização e simulação do mesmo. E a partir das análises desenvolvidas há a possibilidade da consequente otimização do processo, trazendo resultados mais positivos à empresa.

A partir disto, será utilizada como parâmetro principal de estudo deste trabalho uma linha de produção instalada no ano de 2019 em uma fábrica do ramo óptico no Polo Industrial da cidade de Manaus (PIM).

1.2. Delimitação do estudo

O foco principal deste trabalho será aplicar métodos de virtualização e simulação discreta, de modo a ter-se um modelo para comissionamento e planejamento, em uma nova linha de produção de uma fábrica do PIM, onde são aplicados tratamentos em lentes oftálmicas.

Desta forma, o escopo da pesquisa será direcionado para um processo onde lentes oftálmicas (produtos), que já foram produzidas em outro departamento da empresa, recebem um tratamento antes da entrega ao cliente final.

Após a conclusão desta abordagem específica, busca-se construir um legado científico baseado nesta metodologia, de modo a permitir sua ampliação e aplicação outras áreas e processos, servindo como base para as demais aplicações.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Propor um modelo para tomada de decisão em linha de produção em uma indústria do ramo óptico do Polo Industrial de Manaus.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar sistematicamente a bibliografia relacionada a virtualização e comissionamento virtual.
- Analisar globalmente o processo de uma linha de produção da fábrica e coletar informações para a construção do modelo matemático e computacional.
- Modelar e virtualizar os sistemas produtivos na ferramenta *Plant Simulation*™.
- Obter um modelo para simulações, análise de intervenções e planejamento da empresa.

1.3.3. Justificativa

O presente trabalho tem como principal objetivo propor um modelo para tomada de decisão em uma linha de produção recém instalada na cidade de Manaus, com grande viés estratégico para a empresa em âmbito mundial. Destaca-se aqui a possibilidade de um rápido retorno do investimento aplicado, em virtude da economia em custos operacionais que serão gradualmente eliminados, a partir da implementação da linha.

A partir disto, serão aplicados métodos para virtualização e simulação discreta na linha de produção, a fim de garantir o melhor aproveitamento da mesma e ter-se um modelo que auxilie na tomada de decisões e planejamento estratégico da empresa.

Tem-se, portanto, a aplicação de conceitos da Indústria 4.0 como será apresentado ao longo deste trabalho. Conforme explicam Dalenogare et al. (2018) a Indústria 4.0 é considerada como um novo estágio, onde a integração vertical/horizontal da indústria e a conectividade dos produtos irão auxiliar as companhias no alcance de altos níveis de performance industrial.

Este trabalho visa também auxiliar na correção de eventuais problemas existentes na linha em questão e será de suma importância para a empresa, a qual poderá usar-se dos resultados obtidos e alcançar a excelência a nível mundial, em comparação com as demais linhas já consolidadas em outras plantas.

Vale ressaltar ainda que esta estratégia pode ser amplamente utilizada em outros ramos da indústria, com os mais variados produtos e processos, dadas as devidas proporções, peculiaridades e circunstâncias. Portanto, tem-se um modelo que poderá ser amplamente utilizado nos próximos anos utilizando os conceitos e metodologias abordados.

2. Referencial Teórico

Serão apresentados nesta seção conceitos de fundamental importância para a correta compreensão e interpretação desta pesquisa.

Optou-se por realizar uma revisão sistemática da literatura pertinente ao assunto, onde é de fundamental importância que se tenha a análise de publicações recentes que representem o atual estado da arte. Embora também sejam abordadas referências com um conteúdo mais antigo para introdução de determinados temas.

Conforme Kitchenham (2004) uma revisão sistemática da literatura permite que os dados sejam sumarizados, de modo a perceber-se as lacunas existentes na área de pesquisa, o que irá permitir o correto direcionamento para as próximas etapas. Além de permitir que as conclusões obtidas em diferentes pesquisas sejam analisadas, interpretadas e combinadas, corroborando com um embasamento teórico robusto.

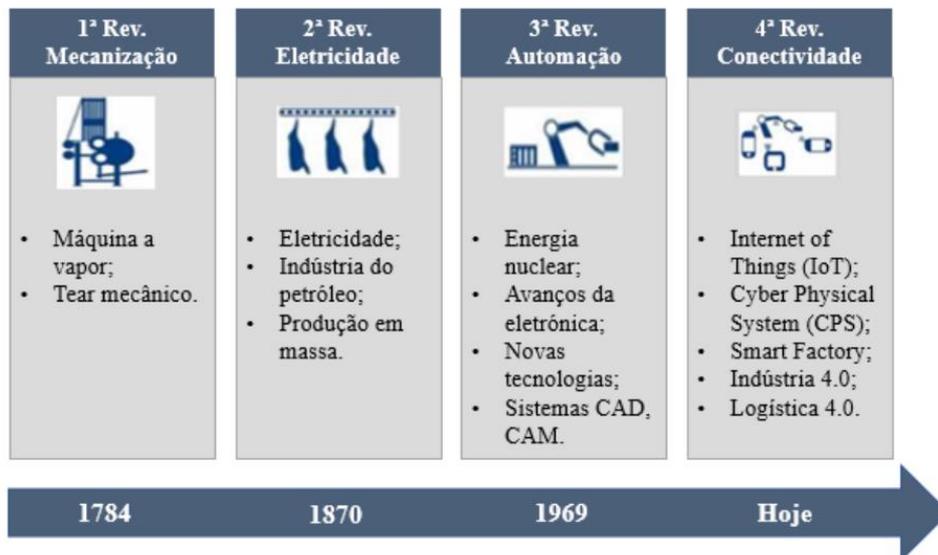
No âmbito da pesquisa das referências tem-se prioridade por aqueles com menos de 5 anos de publicados, apresentados na língua inglesa e publicados em periódicos internacionais, uma vez que representam as mais recentes pesquisas em âmbito mundial. Para a localização destes periódicos adotou-se o Portal de Periódicos da CAPES, utilizando a revisão por pares como fator determinante na adoção dos artigos.

2.1. Indústria 4.0

O novo conceito de Indústria 4.0 é apresentado por diversos autores como a reunião de tópicos chave, conforme é apresentado por Tay et al. (2018), que marcam esta nova era tecnológica. Entre os principais tópicos listados pelos autores, destaca-se: Sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas e Internet Industrial, conceitos que foram aplicados inicialmente na indústria e que foram rapidamente difundidos para outros setores, que representam o cenário futuro da produção mundial.

Segundo os autores a Indústria 4.0 representa a era da automação e das fábricas e produtos digitalizados, e pode ser considerada como a quarta revolução industrial. Isto também é evidenciado por Santos et al. (2018), que destacam que a Indústria 4.0 representa uma evolução natural dos sistemas industriais, que se deu desde a mecanização do trabalho até a automação da produção. E explicam, ainda, as etapas de cada Revolução Industrial, as quais estão sintetizadas na Figura 1.

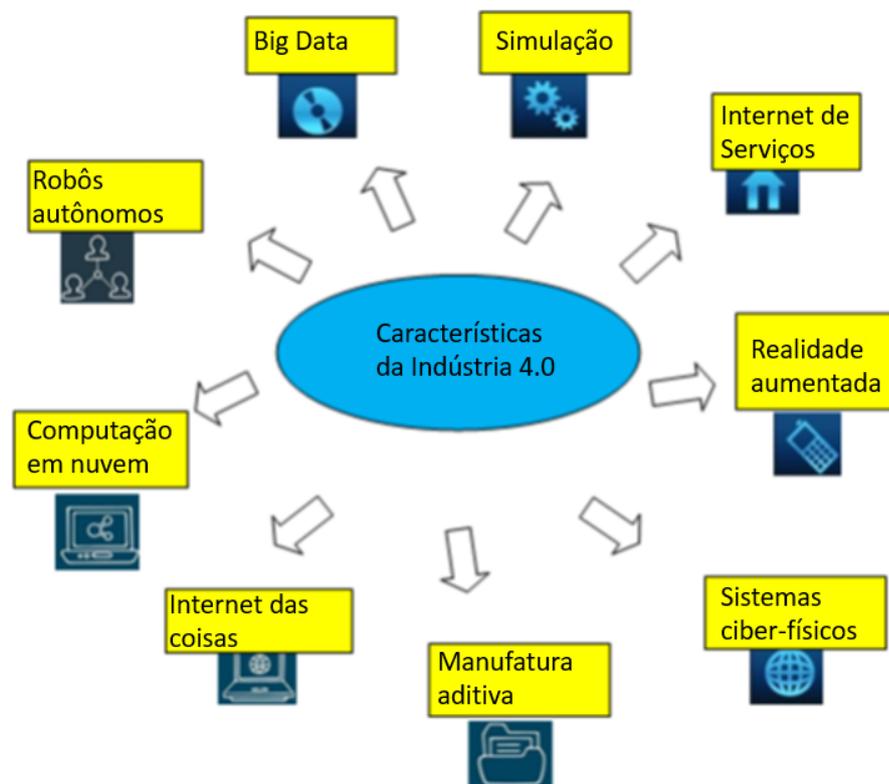
Figura 1 - Revoluções Industriais



Fonte: Santos et al. (2018)

Esta revolução acompanha as novas tendências da evolução nos mais diversos setores. E são apresentados, para esta era, determinados pilares que são representadas pelas nove características principais da Indústria 4.0, mostradas na Figura 2.

Figura 2 - Características da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Tay et al. (2018)

Percebe-se a partir da análise dos tópicos presentes na figura anterior que a Simulação é vista como um dos pilares da Indústria 4.0, neste contexto o presente trabalho pode ser aplicado à nova realidade da Indústria 4.0, uma vez que está intimamente interligado com a simulação de processos.

A Indústria 4.0 também é entendida como um novo estágio de integração entre os sistemas de operações industriais com as tecnologias de comunicação e informação, conforme explicam Dalenogare et al. (2018). Tem-se uma nova regra de competitividade entre as empresas, uma vez que há uma adaptação aos conceitos de Internet das Coisas e Digitalização de Fábricas.

Atribui-se ainda que a Indústria 4.0 é um mecanismo de atendimento as demandas por produção mais rápida, eficiente e flexível, como explicam Rolle, Martucci e Godoy (2020), onde tem-se as plantas tradicionais transformadas em fábricas inteligentes.

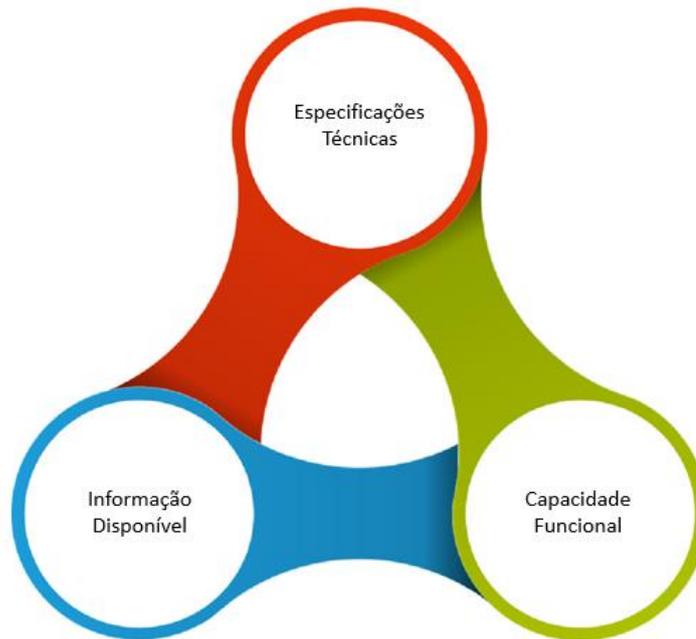
Para Lu e Xu (2018) as fábricas inteligentes necessitam ter três fatores determinantes: I) Tomar decisões de engenharia em tempo real; II) Monitorar todos os recursos via internet industrial; III) Entender suas capacidades e auto organizar as atividades de produção. E estes fatores são alcançados com maior facilidade quando se tem um processo virtualizado.

2.2. Virtualização

No contexto da Indústria 4.0 um conceito que passa a ser empregado é a Virtualização ou Digitalização de processos. Autores como Rolle, Martucci e Godoy (2020) descrevem este artifício como “Gêmeos Digitais”, uma vez que são criadas réplicas virtuais (gêmeas) dos sistemas desejados. Ou seja, virtualizar um processo significa transpor o processo do meio físico para o virtual.

A virtualização de um ativo industrial inclui três partes integrais descritas por Lu e Xu (2018), conforme mostra a Figura 3. Como especificações técnicas, entende-se tudo aquilo que está definido pelo fabricante em uma lista de atributos do ativo industrial. Capacidade funcional específica como os recursos deste ativo podem ser utilizados em determinadas condições para gerar resultados. E informações disponíveis tratam-se das informações de disponibilidade e capacidade de cada componente do processo.

Figura 3 - Componentes para uma indústria virtual Fonte:



Adaptado de Lu e Xu (2018)

Este conceito de virtualização tende a se aproximar da simulação, para que sejam tomadas decisões no âmbito gerencial dos processos. Estes conceitos são vistos em paralelo em definições da Agência Espacial Americana, descritas por Kunath e Winkler (2018), onde conceitua-se os gêmeos digitais como sistemas ultra realísticos de alta escala de simulação, onde os dados são utilizados para espelhar sistemas físicos. Os autores sumarizam, ainda, três principais funções dos gêmeos digitais: predição, segurança e diagnóstico.

2.3. Virtualização e Simulação discreta

Sabe-se que devido a elevada competitividade de mercado e avanços tecnológicos, faz-se necessário que as empresas avancem no âmbito da Tecnologia da Informação (TI). Conforme explica Siderska (2016), as soluções de TI são cada vez mais utilizadas pelas empresas dos mais diversos ramos da economia e as simulações computacionais são as ferramentas mais utilizadas nas engenharias de produção e industrial.

Conforme mostram Dumitrascu, Dinca e Predincea (2017) durante os estágios de desenvolvimento de um processo existem mudanças inerentes às ideias iniciais, diante disto as empresas travam uma batalha na decisão para a aplicação ou não destas mudanças. Explicam ainda que uma representação digital de um processo ou fábrica auxiliam na detecção de problemas e nos testes para definir qual cenário ou solução implementar.

Vale ressaltar que esses recursos estão disponíveis em curto período, se comparado com outros métodos, como a criação de protótipos, os quais exigem também maiores custos para seu desenvolvimento.

Estes modelos virtuais tornam possível a execução de extensos experimentos e cenários de “e se” sem que sejam causados distúrbios no sistema real, conforme comprovam Fedorko et al. (2018). Além de auxiliar na coleta de informações sobre resultados planejados e esperados antes da instalação dos sistemas reais, e possibilitar a otimização de fluxos, utilização de recursos e logística em todos os níveis de planejamento.

Blaga et al. (2017) também concordam ao afirmar que diferentes modelos virtuais podem ser associados com um sistema, de modo que sejam obtidas informações importantes para tomadas de decisão e atividades de gerenciamento da produção.

Além das mudanças relacionadas ao projeto e desenvolvimento de determinado processo, existem também as necessidades de reconfigurações baseadas em novas demandas dos clientes, relacionadas a variedade e quantidade, conforme mostram Más et al. (2016). Que também apostam na simulação discreta para solução destas variações e explicam que atualmente trata-se de uma das ferramentas mais comuns para analisar e entender a dinâmica de sistemas produtivos.

Esta mudança dinâmica nas demandas também é apontada por Danilczuk (2018), portanto, exige-se das companhias uma rápida adaptação em seus sistemas produtivos.

Tem-se que produção virtual, para Debevec, Herakovic, Simic (2014), é definida como a integração de diferentes modelos, simulações e técnicas em um ambiente computacional integrado, que permitem a execução do plano produtivo em ambiente virtual. E nesse ambiente virtual tem-se a vantagem de utilizar-se apenas de dados e não de recursos físicos, além da possibilidade de adquirir a expertise para entender o funcionamento de um sistema produtivo.

Os pesquisadores também apresentam informações que indicam que em pequenas empresas apenas 5% do tempo é destinado às operações de máquinas e montagens, o tempo restante na operação representa o preparo dos recursos e a espera entre estações.

Em termos de recursos físicos economizados no âmbito de aplicação de simulações em vistas a alterações reais, Danilczuk (2018) mostra que em caso de erros é possível realizar alterações sem a interrupção das operações na linha ou diminuição da sua performance.

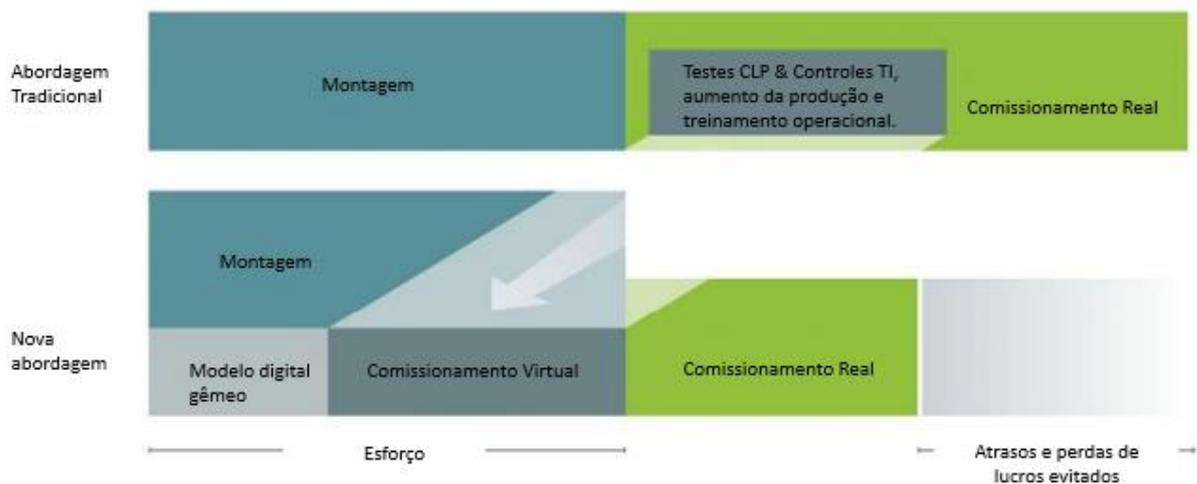
Neste contexto, Yap et al. (2014) reiteram essas afirmações ao definir manufatura virtual como o uso de tecnologia de realidade virtual em tempo real baseada em simulação, de modo que estes recursos possibilitem otimizar o projeto do produto e processo, para uma específica necessidade de produção, qualidade, operações *lean* e/ou flexibilidade.

Utilizando-se também dos conceitos de manufatura digital, Guerrero, López e Mejía (2014) explicam e definem como uma nova tendência em que produtos e processos são desenvolvidos em ambientes virtuais. Também ressaltam que manufatura digital é a integração entre o gerenciamento do ciclo de vida do produto, *software* e diferentes projetos e aplicações no chão de fábrica.

Todos estes conceitos e aplicações de virtualização, comissionamento virtual, simulações, dentre outros, para Dumitrascu, Dinca e Predinca (2017) tornaram-se um padrão industrial e são essências para qualquer processo automatizado, seja ele grande ou pequeno.

Em termos de comissionamento Ružarovský, Holubek e Sobrino (2018) explicam que as soluções tradicionais de comissionamento exigem tempo de desligamento do sistema, o que implica no aumento dos custos. Em contrapartida as novas abordagens realizam em um primeiro momento o comissionamento virtual, de modo que a depuração e comissionamento real estejam nos últimos passos do desenvolvimento, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Comparação entre abordagem tradicional e a nova abordagem de comissionamento



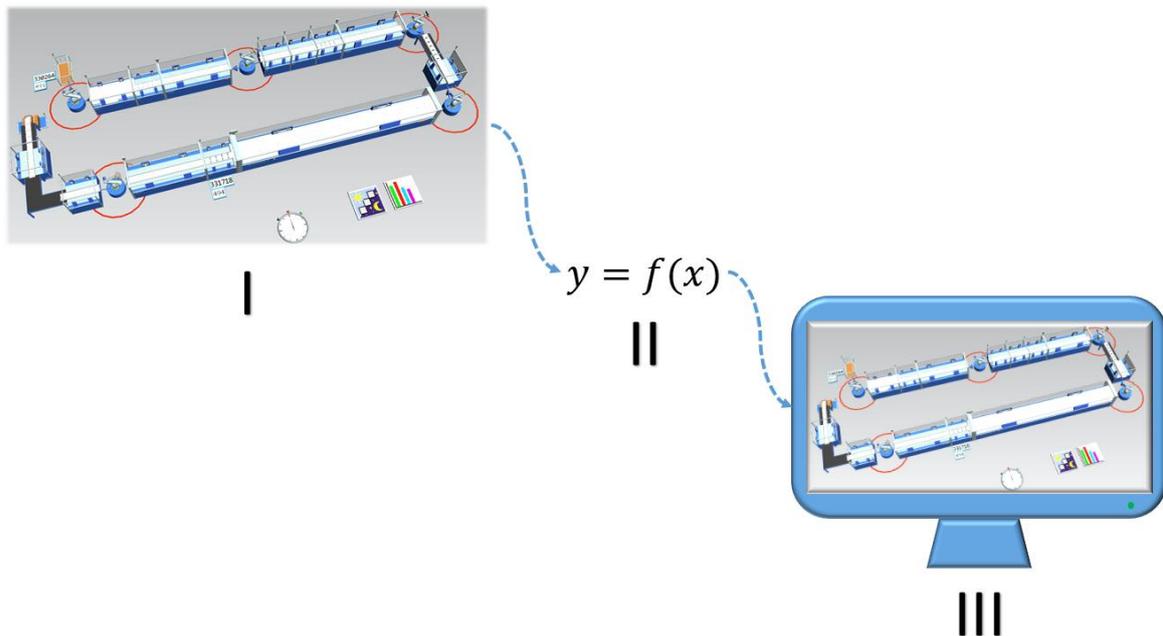
Fonte: Adaptado de Ružarovský, Holubek e Sobrino (2018)

Este campo de virtualização é denominado por Dobrescu, Merezeanu e Mocanu (2019) como VMS do inglês *Virtual Manufacturing Systems* (Sistemas de Manufatura Virtual). Os autores afirmam que os projetistas podem utilizar-se dos VMS para a concepção de novas máquinas, robôs, instalações, logísticas, sensores, unidades e componentes de controle, além de permitir a combinação de componentes individuais, de modo a verificar seu comportamento perante uma implementação em uma linha de produção.

A Figura 5 mostra um esquema simplificado com as etapas em que um complexo modelo real pode ser descrito em um modelo virtual para simulações em sistemas de manufatura virtual. Os três estágios deste diagrama para um modelo hipotético são:

- I. Modelo Real;
- II. Modelo Matemático;
- III. Modelo Virtual.

Figura 5 – Esquema de modelo real para virtual



Fonte: Autoria própria

Este é o conceito aplicado nesta pesquisa, onde o ponto de partida é um modelo real e complexo e o objetivo final é obter um modelo virtual, para isto se faz necessário um modelo matemático que fará a interligação entre os dois extremos.

O conceito de manufatura virtual também é adotado por Andrade-Gutierrez et al. (2018), onde, segundo os autores, objetiva aprimorar todos os níveis de controle em um sistema de manufatura discreto ou contínuo. E este objetivo se aplica tanto para funções de produção tangíveis, quanto para intangíveis (programação, planejamento, custos, etc.). Descrevem ainda que as principais características de um sistema de manufatura virtual são: Interatividade em tempo real; uso de elementos tridimensionais; mistura de elementos virtuais e reais. E é a partir das VMS que os engenheiros podem interagir, manipular e reconfigurar os sistemas.

A virtualização alcançou o status principal em diferentes campos, conforme a pesquisa de Lu, Li e Yang (2017) mostra. Esta ferramenta oferece economia de custos, maior eficiência

operacional e flexibilidade. Além da economia de recursos físicos, como máquinas e equipamentos.

Já a definição para simulação é reforçada por Rodič (2017) que as define como a utilização de modelos de sistemas reais ou imaginários para melhor entender ou prever o comportamento do sistema modelado. São apresentados também os paradigmas da simulação, com uma abordagem voltada para sua evolução. A Tabela 1 mostra os principais aspectos da evolução dos paradigmas das simulações da década de 60 até os dias atuais.

Tabela 1 - Evolução das aplicações das simulações.

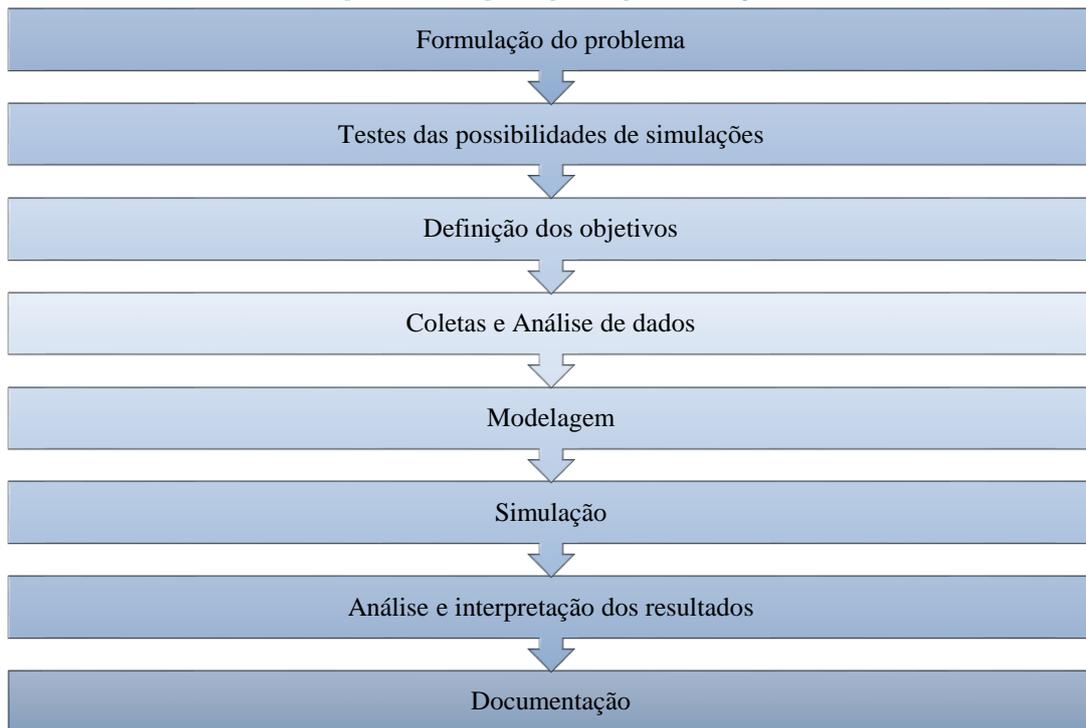
Aplicação Individual	Ferramentas de simulação	Projeto de sistemas baseado em simulações	Conceito digital Twin
>1960	>1985	>2000	>2015
Simulações limitadas a aplicações específicas	Simulações são tidas como uma ferramenta padrão para responder questões de engenharia e de projetos específicos.	Simulações permitem uma abordagem sistêmica para sistema multi-nível e multidisciplinares, com diversas aplicações	Simulações são funcionalidades essenciais nos sistemas, através de assistências durante todo o ciclo de vida do produto/processo.

Fonte: Adaptado de Rodič (2017)

Sabe-se também que as virtualizações e simulações não se dão apenas para representar geometricamente dados objetos e seus respectivos movimentos, como explicam Sobrino et al. (2019) que completam ainda afirmando que, atualmente, estas ferramentas devem representar os sistemas de produção real, respeitando seus comportamentos lógicos e regras de controle, de modo que se tenha, então, a verdadeira fábrica digital, possibilitando, assim, o Comissionamento Virtual.

Para obter-se sucesso durante um processo de simulação deve-se planejar a simulação e executá-la conforme definido. Para Bangsow (2010) deve-se seguir oito passos para uma simulação, esses passos estão definidos baseando-se em normas da Associação de Engenheiros Alemães (*Verein Deutscher Ingenieure – VDI*). Os oito pilares estão expressos na Figura 6, que foi adaptada de Siderska (2016).

Figura 6 - Fluxograma pilares para simulação.



Fonte: Adaptado de Siderska (2016).

Para que se obtenha sucesso no decorrer da simulação e para que se consigam resultados satisfatórios e conclusivos, deve-se realizar cada etapa criteriosamente, de modo a garantir que uma etapa esteja completada antes de seguir para o próximo passo.

Após a conclusão da última etapa (documentação), onde os resultados obtidos serão registrados e apresentados formalmente, pode-se inferir a respeito das decisões que serão tomadas, em virtude dos resultados encontrados.

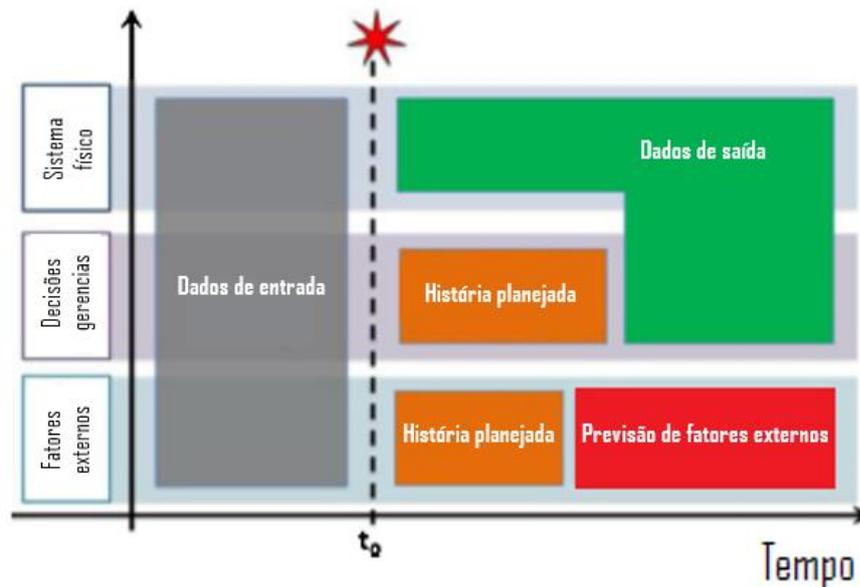
Como explicado por Kikolski (2017) a implementação de soluções computacionais na Engenharia de Produção permite que haja uma redução nos custos que algumas empresas encontram, em virtude de decisões errôneas durante as fases de planejamento e modernização de linhas de produção.

Ter-se um modelo virtual que represente e forneça respostas que de fato aproximem-se do comportamento real do sistema envolve uma gama de restrições que precisam ser vencidas, Terkaj, Tolio e Urgo (2015) comentam que superadas estas limitações as ferramentas de simulação fornecem uma abordagem estruturada para tomada de decisões e uma possível melhora no desempenho da fábrica.

Os autores mostram também que dados históricos trabalham como fortes aliados de modo a permitir a continuidade entre o digital e o real. A fim de ter-se uma maior coerência global deve-se alinhar as diferentes “fontes históricas” da fábrica, como por exemplo

monitoramento do sistema físico, análise dos eventos planejados ou previsão de fatores externos à produção. O resumo desta estrutura histórica é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Estrutura para continuidade digital.



Fonte: Adaptado de Terkaj, Tolio e Urgo (2015)

Além do já exposto, vale ressaltar que o método de virtualização não está restrito apenas na aplicação em linhas de produção na indústria, aplicando-se nos mais variados seguimentos de processos.

Como mostram Verdouw et al. (2015), as aplicações de virtualização estão sendo aplicadas também na área de logística. Conforme mostram os autores o controle de cadeias de suprimentos pode ser ampliado a partir de objetos virtuais, como alternativa aos objetos físicos e observação direta.

São elencados também três restrições que são eliminadas com a virtualização:

- Lugar: Virtualização não requer espaço físico;
- Tempo: Virtualização permite que sejam realizadas representações de objetos atuais, além da reprodução de acontecimentos passados ou simulações de estados futuros;
- Observação Humana: Virtualização permite que sejam adicionadas informações aos objetos, as quais o olho humano não é capaz de observar.

Corroborando com as múltiplas aplicações das poderosas ferramentas de simulação e virtualização tem-se Lee et al. (2017) que mostram possíveis aplicações no âmbito de

treinamentos operacionais. Os autores explicam que em muitos casos de acidente, as causas principais se dão pela falha humana atrelada à ineficiência na transferência de informações. Portanto, com a simulação tem-se um método eficaz que possibilita o constante treinamento e redução no número de acidentes, especificamente para este caso teve-se a aplicação na indústria química.

A simulação e virtualização são, ainda, importantes ferramentas que auxiliam na definição da sequência de gargalos em um determinado processo. Como explica Putra (2016) não se pode retirar um gargalo antes de conhecê-lo e conhecer seu gargalo precedente, além de ter-se as informações relativas ao ganho que será obtido na retirada do mesmo. Então, é na solução destas etapas onde tem-se a ajuda da simulação de processos.

Além dos benefícios já apresentados e listados, Seo e Kim (2018), assim como Bangsow (2010), baseiam-se em uma diretriz da VDI e apresentam dados a respeito dos custos de investimento em um projeto que utiliza simulação, onde afirmam que a simulação pode influenciar até 20% dos custos de investimentos e estes custos podem ser reduzidos entre 2% a 4% com um custo de simulação que varia entre 0,5% e 1% do investimento.

2.3.1. Tecnomatix Plant Simulation

O *software* utilizado para a virtualização e as simulações descritas neste trabalho será o *Tecnomatix Plant Simulation*TM.

O *software* possui bibliotecas dedicadas que auxiliam no desenvolvimento das análises; possibilita que seja realizada a simulação dos indicadores de desempenho de um sistema; possui algoritmos genéticos que podem ser utilizados para a otimização automática de processos; e possui dois modelos de visualização (2D e 3D), de modo a aumentar a realidade dos objetos simulados.

Blaga et al. (2017) corroboram com a adoção do *software* para modelagem e comissionamento virtual ao explicar que o *Tecnomatix*[®] *Plant Simulation* permite a modelagem e simulação de sistemas de manufatura, além de permitir também a ágil mudança e manutenção de sistemas complexos. Mostram também que esta ferramenta oferece a possibilidade de avaliar a performance para diferentes atividades produtivas.

Essa decisão também é apoiada na pesquisa de Fedorko et al. (2018) que definem o *Tecnomatix*[®] *Plant Simulation* como um programa de simulação e um portfólio de ferramentas programáveis com opções que abrangem toda a complexa área de soluções em simulação digital. Na resolução de problemas de engenharia pode ser empregado em todos os estágios do

projeto ao planejamento, com simulações e verificações, que serão aliadas na implementação e gerenciamento.

O complemento desta definição do *Tecnomatix[®] Plant Simulation* é apoiado em Sobrino et al. (2019) que o descrevem como um *software* de simulação discreta que oferece um extensivo intervalo de ferramentas analíticas, para a avaliação de diferentes cenários de manufatura e provimento de informações para a tomada de decisões rápidas, confiáveis e menos empíricas.

Realizou-se também uma análise bibliométrica utilizando o *software* de análises *VOS Viewer* com a base de dados bibliográfica Scopus, a fim de comparar os estudos realizados nos últimos 10 anos entre o *Tecnomatix[®] Plant Simulation* da Siemens e o *Arena[®] Simulation* da *Rockwell Automation*, no âmbito da otimização e aplicações para fins industriais.

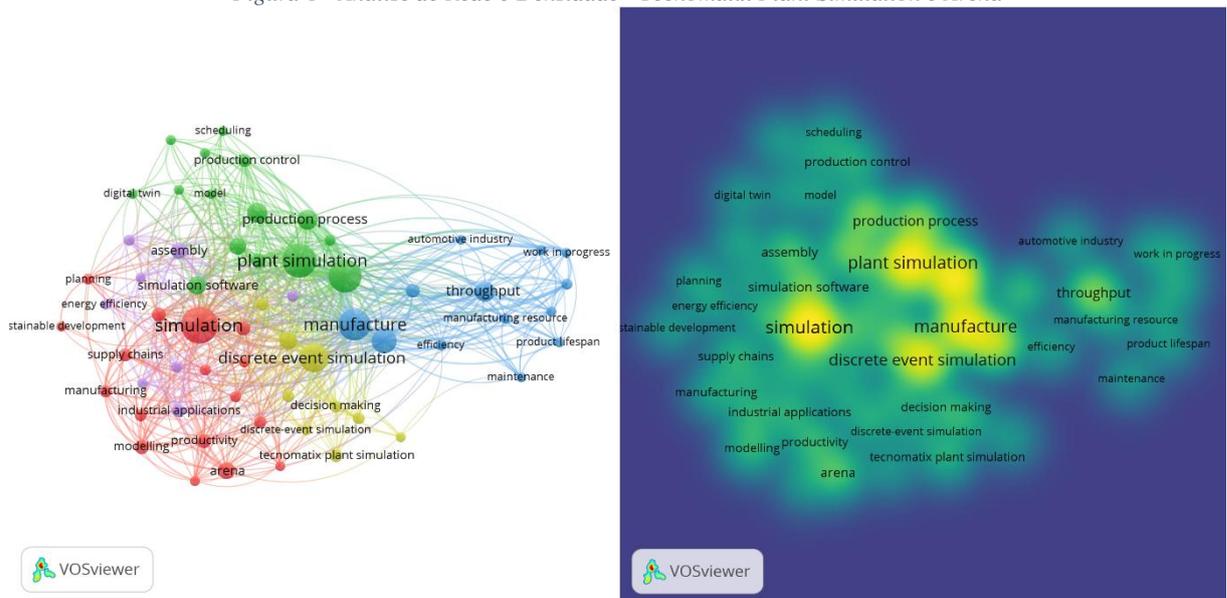
Esta comparação se dá principalmente pela popularidade do *Software Arena[®]*, conforme mostram Dias et al. (2016), os quais também mostram a evolução do *Plant Simulation* entre estudos realizados nos anos de 2006, 2011 e 2016, como um dos *Softwares* com maior evolução demonstrando seu potencial de crescimento e ampliação nas aplicações de virtualização e simulação, devido sua extensa versatilidade e aplicabilidade.

Nesta avaliação foi utilizado o *string*: “(TITLE-ABS-KEY (plant AND simulation) AND TITLE-ABS-KEY (tecnomatix) OR TITLE-ABS-KEY (arena)) AND PUBYEAR > 2009”, a fim de obter-se os resultados que contivessem as relações entre os termos *Plant Simulation Tecnomatix* e *Arena*, de forma independente, filtrando apenas as publicações com data a partir do ano de 2009. A partir desta entrada foram obtidos 170 resultados que foram exportados com arquivo .csv e importados no *VOS Viewer*.

As informações referentes aos artigos analisados estão disponíveis no ANEXO A deste trabalho, foram retiradas apenas 4 publicações que não disponibilizaram os nomes dos respectivos autores.

Ao realizar o comparativo do *Tecnomatix[®] Plant Simulation* e do *Arena[®]* observa-se que há maior tendência de aplicações do *Plant Simulation* no que se refere às simulações discretas voltadas à manufatura, que são focos e propostas desta pesquisa. Ou seja, observa-se, a partir do mapa de rede e do mapa de densidade propostos na Figura 8, que as correlações entre os principais temas abordados neste trabalho possuem suas pesquisas direcionadas às aplicações com o *Plant Simulation*.

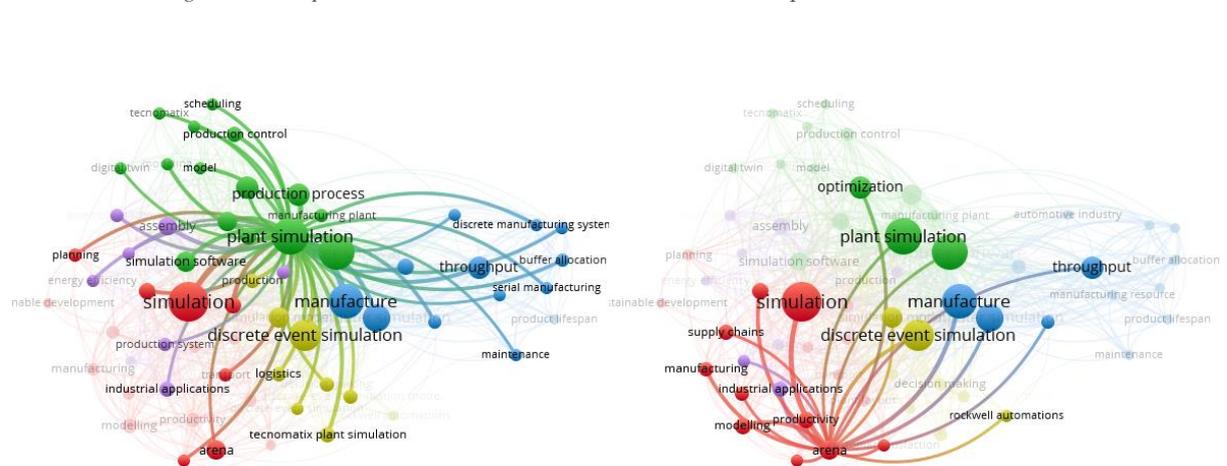
Figura 8 - Análise de Rede e Densidade - Tecnomatix Plant Simulation e Arena



Fonte: Autoria própria

Esta diferença torna-se ainda mais visível ao comparar as diferenças de abrangências entre as redes do *Plant Simulation*[®] e do *Arena*[®]. Ao destacar individualmente cada *software* nos mapas acima é possível observar as respectivas ramificações, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Comparativo entre as redes do Plant Simulation, a esquerda, e do Arena, a direita.



Fonte: Autoria própria

Além de apresentar uma vasta gama de aplicações, o *Plant Simulation* se faz mais presente nos estudos focados no ramo industrial, por permitir que sejam abordados diferentes aspectos, como planejamento de produção, manutenção, logística, dentre outros.

Ao avaliar a quantidade de publicações por ano com base na *string* utilizada, percebe-se um aumento polinomial na quantidade de produções anuais, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Publicações por ano - Base Scopus

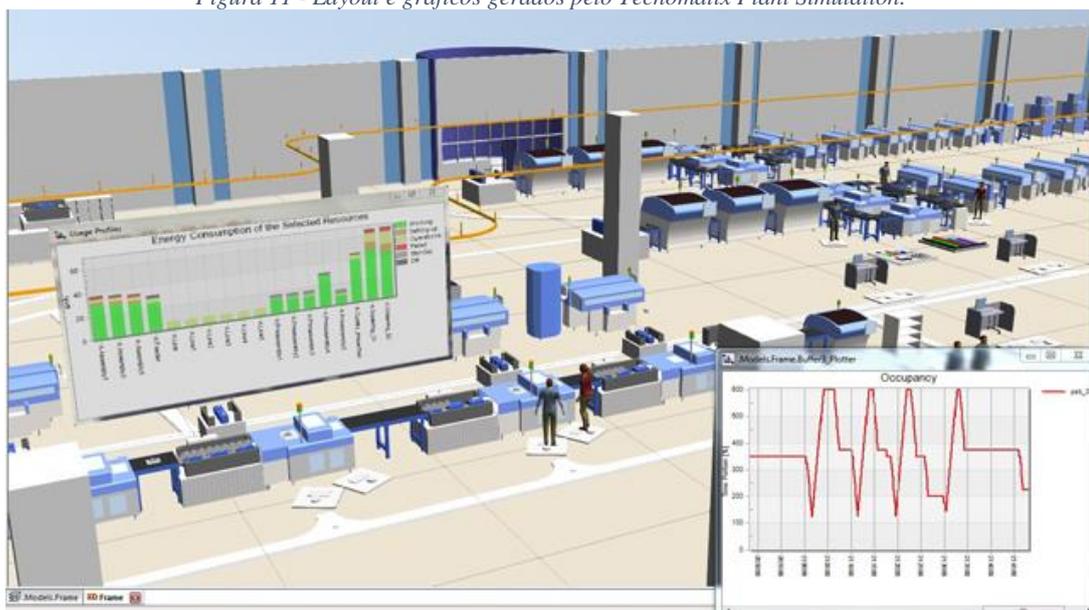


Fonte: Autoria própria

Outro fator preponderante para a escolha do *software* se deu pela disponibilidade do mesmo nos laboratórios da Universidade e a facilidade em obter-se a versão de estudante para realização das modelagens, bem como pela disponibilidade de representantes locais para fornecimento de treinamentos inerentes à aplicação.

A Figura 11 exemplifica um processo que foi modelado no *Tecnomatix® Plant Simulation*, bem como seus respectivos gráficos de consumo de energia e taxa de ocupação.

Figura 11 - Layout e gráficos gerados pelo Tecnomatix Plant Simulation.



Fonte: Site do Tecnomatix Plant Simulation (Siemens). Disponível em: <<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>>; Acesso em: 02 abr. 2019.

2.4. Otimização

Um processo de otimização é um processo fundamental na indústria em geral, define-se como otimizar o ato de dar a uma ação o seu rendimento ótimo, criando as condições mais favoráveis para tal, conforme mostra o Dicionário Priberam (2018). Em uma linha de produção tem-se máquinas que trabalham, geralmente, em série e devem estar em perfeita harmonia, alinhadas como em uma orquestra.

Para que esta harmonia seja alcançada o processo necessita ser otimizado de tal maneira que os desperdícios possam ser eliminados, os tempos de ciclos das estações reduzidos e as atividades com pouco ou nenhum valor agregado sejam comprimidas.

O primeiro passo para uma otimização trata-se em modelar o objeto de estudo e entender seus principais problemas e defeitos. A partir desta primeira análise pode-se, então, buscar métodos de otimização que forneçam condições favoráveis, como explicado no início deste tópico.

Encontrar a solução ótima exige que a coleta dos dados seja realizada de uma forma coerente e mais importante que a análise dos dados é o planejamento para as atividades onde os dados serão coletados, como mostram Barros Neto, Scarminio e Bruns (2001). Haja vista que resultados coletados de experimentos mal planejados se tornam bastante inconclusivos.

2.5. Sistemas SCADA para coleta de dados

Os Sistemas SCADA, do inglês *Supervisory Control And Data Acquisition* (Controle de Supervisão e aquisição de dados) são sistemas amplamente utilizados na indústria para monitoramento e controle de suas operações, conforme mostram Daneels e Salter (1999).

Os autores explicam, ainda, sobre a arquitetura dos sistemas SCADA em termos de *softwares*, que permitem a utilização por parte dos clientes, e *hardwares*, onde existem as chamadas “camada do cliente” e “camada dos dados do servidor”, a qual possui conexões com os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) das máquinas/equipamentos, com os demais servidores e com o computador de acesso do cliente.

Ou seja, este sistema coleta dados gerados pelo CLP de determinada máquina, envia estes dados para um servidor onde serão armazenados e possibilita o acesso desta base de dados a um cliente, por meio de um *software* que integra os dados. É possível a coleta de diversas variáveis de processo, a saber: pressão, velocidade, temperatura, condutividade, resistividade, tempo de ciclo, viscosidade, dentro outros.

Segundo *Inductive Automation* (2018) estes sistemas são cruciais para a indústria, uma vez que ajudam a manter a eficiência, processar dados para decisões inteligentes e comunicar problemas de modo a reduzir paradas de equipamentos, além de permitirem que organizações industriais tenham:

- Controle remoto ou local de seus processos industriais;
- Monitoramento de dados em tempo real;
- Interação direta com sensores, válvulas, bombas, motores e através da Interface Homem-Máquina (IHM);
- Armazenamento de eventos em arquivos log.

Os Sistemas SCADA podem ser empregados nos mais variados setores, como mostra Khandelwal (2013) que explica que a implementação dos sistemas SCADA evoluíram o setor de energia, possibilitando visibilidades sem precedentes aos operadores, para alimentar sua infraestrutura.

2.6. Estudo de Tempos e Métodos e Modelagem Matemática

Para que seja possível realizar a otimização de um método adotado para realização de uma atividade Vieira et al. (2015) explicam que é necessário um estudo em todos os detalhes relativos ao trabalho, de modo a obter-se informações detalhadas de determinada operação.

Nestas informações inclui-se os tempos inerentes à operação e informações que impactam diretamente no comportamento do sistema, a saber: tempo de ciclo, tempos de paradas, tempo de processamento, tempos relativos às atividades de manutenção programada e/ou corretiva, número de máquinas, quantidade de operadores, dentre outros.

Em termos de atividades Turpin Jr (2018) elenca que estas compõem um processo e apresentam seus tempos e números de empregados. Explica ainda que o tempo pode ser dividido em três áreas com as respectivas definições apresentadas abaixo:

- Tempo de Processamento (*Process Time*): Denota o tempo de processamento.
- Tempo de Espera (*Waiting time*): Denota o tempo de não processamento.
- Tempo de Ciclo (*Cycle Time*): Tempo médio entre unidades sucessivas de saída, calculado pelo tempo de ciclo máximo de cada atividade individual.

Em uma linha de produção cada máquina ou equipamento apresenta um tempo de ciclo que está em função do tempo de processamento nesta máquina e da sua capacidade, conforme descreve a Equação 2.1.

$$CT = \frac{PT}{Qty} \quad (2.1)$$

Onde,

- $CT =$ Tempo de ciclo;
- $PT =$ Tempo de processamento;
- $Qty =$ Quantidade de peças comportadas na máquina simultaneamente.

O tempo de atravessamento da linha é igual ao somatório dos tempos de processamento de todas as componentes desta linha, conforme a Equação 2.2.

$$CrossingTime = \sum_{i=1}^j PT_i \quad (2.2)$$

A quantidade de peças presentes com a linha completamente carregada é dada pelo somatório das capacidades de cada máquina individualmente, conforme a Equação 2.3.

$$Loading = \sum_{i=1}^j Qty_i \quad (2.3)$$

A capacidade produtiva da linha é função da capacidade produtiva do gargalo, ou seja, a máquina com maior tempo de ciclo e conseqüente menor capacidade, conforme Equação 2.4.

$$Capacity/hour = \frac{3600}{CT_{BOTTLENECK}} \quad (2.4)$$

Os dados relativos às atividades de manutenção podem ser consolidados no Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures – MTBF*), Tempo Médio para Reparo (*Mean Time To Repair*) e Disponibilidade.

Estes conceitos são analisados em determinados períodos e utilizam os dados referentes às falhas ocorridas nos equipamentos neste período, conforme mostram as equações 2.5, 2.6 e 2.7, respectivamente.

$$MTBF = \frac{\textit{WorkingTime}}{\textit{Quantity of Failures}} \quad (2.5)$$

$$MTTR = \frac{\textit{Time to Corrective Maintenance}}{\textit{Quantity of Failures}} \quad (2.6)$$

$$\textit{Availability} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.7)$$

3. Metodologia

Nesta seção será apresentada a metodologia utilizada para a realização desta pesquisa.

3.1. Fundamentação

A presente pesquisa tem por objetivo virtualizar o processo em uma Linha de Produção de uma fábrica do ramo óptico na cidade de Manaus, de modo a realizar o comissionamento da mesma, trata-se, portanto, de uma pesquisa-ação quanto aos objetivos, uma vez que busca intervir na realidade do objeto estudado, conforme exemplifica Prestes (2008) a pesquisa-ação é aquela onde há intervenção efetiva entre pesquisadores e pesquisados, visa resolver uma problemática observada.

Quanto à finalidade da pesquisa este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada. Uma vez que visa utilizar conceitos da pesquisa pura com ênfase na aplicação prática deste conhecimento. Conforme explica Gil (2008), a pesquisa aplicada tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas do conhecimento.

Quanto ao nível de pesquisa, este trabalho pode ser classificado como pesquisa exploratória. Markoni e Lakatos (2003) justificam ao definir a pesquisa exploratória como aquela que visa aumentar a familiaridade do pesquisador, a fim de fornecer subsídios para uma futura pesquisa. A virtualização presente no final deste trabalho serve de base para aplicação prática e ampliação em outros objetos de estudo.

Quanto à estratégia de delineamento e execução trata-se de um estudo de caso. Gil (2008) corrobora ao explicar que o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo de um objeto, a fim de obter seu conhecimento amplo e detalhado. No caso desta pesquisa busca-se obter as informações inerentes à linha de produção que é objeto principal para a consequente virtualização. E como alicerce deste estudo de caso está a Revisão Sistemática da Literatura

Para a etapa em que há a coleta de dados faz-se necessária a correta determinação da População e da Amostra, para Barbetta, Reis e Bornia (2004) a população é o conjunto dos elementos, os quais se deseja estudar e a amostra é um subconjunto desta população. A partir dessa definição tem-se para esta pesquisa a Indústria no PIM como população, e uma Linha de Produção de uma Fábrica Óptica como amostra.

3.2. Procedimentos

Tem-se 9 pilares que nortearam as principais etapas do desenvolvimento deste trabalho, estes pilares estão apresentados na Figura 12 em forma de fluxograma.

A primeira e a segunda etapas complementaram-se e formaram a base geral do trabalho, guiando o desenvolvimento do mesmo até a elaboração dos resultados finais. A revisão bibliográfica serviu como base para o estudo realizado, e utilizou-se de livros específicos para conceitos generalistas e artigos científicos para a compreensão da conjuntura atual dos temas abordados. Estas etapas estão alinhadas com o objetivo específico 1 deste trabalho.

A coleta e o tratamento dos dados foram realizados a partir da linha de produção que é objeto de estudo desta pesquisa, e fomentam as entradas necessárias para as próximas etapas, as quais tratam-se do ponto alto desta pesquisa, onde tem-se a virtualização e simulação do processo. Estes pilares representam o objetivo específico 2 deste trabalho.

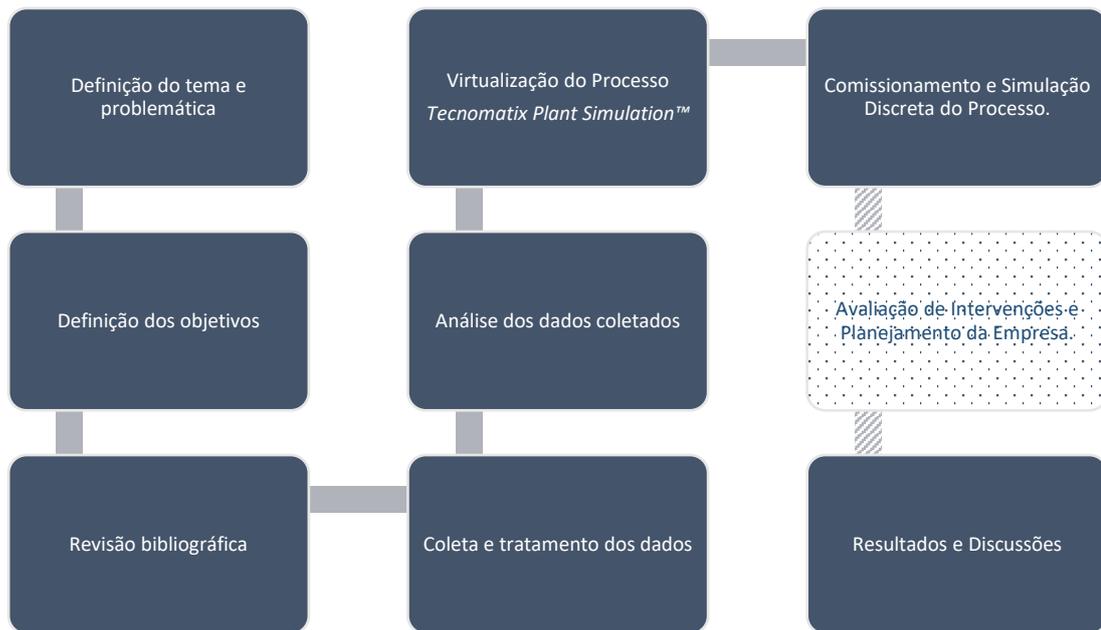
Após a consolidação de todos os dados, tem-se a análise dos mesmos, utilizando-se de elaboração de gráficos de tempos de ciclo e *takt time* da linha, além de análises estatísticas, possibilitando-se, assim, obter-se todas as informações necessárias para a virtualização do sistema.

Os dados obtidos nas análises prévias foram inseridos no *Plant Simulation*™ para a efetiva modelagem e virtualização do sistema, deste modo os objetivos específicos 3 e 4 poderão ser concluídos.

No fluxograma da Figura 12 é possível observar que a etapa de Avaliação de Intervenções e Planejamento da Empresa está com hachuras, haja vista que esta etapa poderá ser continuamente empregada, mesmo após a conclusão deste trabalho. Porém é importante ressaltar que estas avaliações não foram abordadas nesta dissertação, com foco principal no desenvolvimento do modelo que poderá servir para futuras tomadas de decisão.

Após a análise de todos os resultados obtidos os dados foram consolidados e foram apresentados as conclusões e discussões do trabalho, além de possíveis sugestões para futuras pesquisas.

Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos adotados.



Fonte: Autoria própria

3.3. Coleta e Tratamento dos Dados

A coleta de dados utilizada neste trabalho está baseada na análise da linha de produção que compõe a base desta pesquisa.

Foram realizadas cronoanálises, a fim de obter-se os tempos de ciclo de cada equipamento individualmente, além de detectar o gargalo da linha. Então, são construídos gráficos com a relação entre os tempos de ciclo dos postos ao longo do processo produtivo em questão, o que possibilita o entendimento e análise dos locais que necessitam e estão suscetíveis à implementação de melhorias.

Os dados coletados são referentes ao período de 1 de fevereiro de 2020 a 31 de março de 2020.

Todas as máquinas foram cronometradas e foram realizados os cálculos dos indicadores apresentados na seção 2.6 Estudo de Tempos e Métodos e Modelagem Matemática.

Além da cronoanálise foram coletados dados fornecidos pelo CLP de algumas máquinas que dispõem dessas informações, das quais são extraídas a partir de um sistema SCADA utilizado na linha.

No que tange à gestão operacional, foram analisados pontos como: setups entre diferentes produtos; balanceamento e divisão do trabalho entre os operadores, levando-se em consideração intervalos, habilidades/capacitação, assiduidade e demais fatores que possam

requerer rápidas manobras; e momentos propícios a intervenções programadas, como manutenções preventivas. Estes pontos estarão sempre alinhados com a estratégia da empresa, bem como com o determinado pelos setores de Logística e Planejamento e Controle da Produção.

Para a homogeneização e consolidação dos dados faz-se uso do *Software Microsoft Office Excel*[®] 2013 e a ferramenta *Input Analyzer* do *Software Arena*[®] versão 15.10.00001 da *Rockwell Automation Technologies*, que permitem um tratamento estatístico robusto dos dados coletados e fornecem como saída equações de distribuição estatística necessárias para a modelagem matemática e posterior virtualização.

Os dados obtidos nas análises estatísticas realizadas nos *softwares* mencionados acima estão apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4, na seção 4. Estudo de Caso – Polo Industrial de Manaus deste trabalho.

3.4. Validação dos resultados

Após as análises e tratamentos dos dados, sua validação é feita a partir da utilização de métodos de simulação discreta.

As simulações foram realizadas utilizando o *Software* computacional *Siemens Tecnomatix*[®] *Plant Simulation 14*, na versão 14.0.2.1258. E a partir dos dados obtidos com este *software* foram desenvolvidos gráficos e tabelas, de modo a consolidar os dados obtidos.

Uma vez que a modelagem esteja concluída as decisões estratégicas inerentes à linha de produção abordada nesta pesquisa, bem como implementações de melhorias, podem ser facilmente analisadas antes da ação ser efetivada fisicamente.

Com isto tem-se um modelo robusto que pode auxiliar nas tomadas de decisão da companhia, o qual poderá também ser ampliado e aplicado em outros setores da empresa ou mesmo em outras empresas dos mais variados ramos industriais.

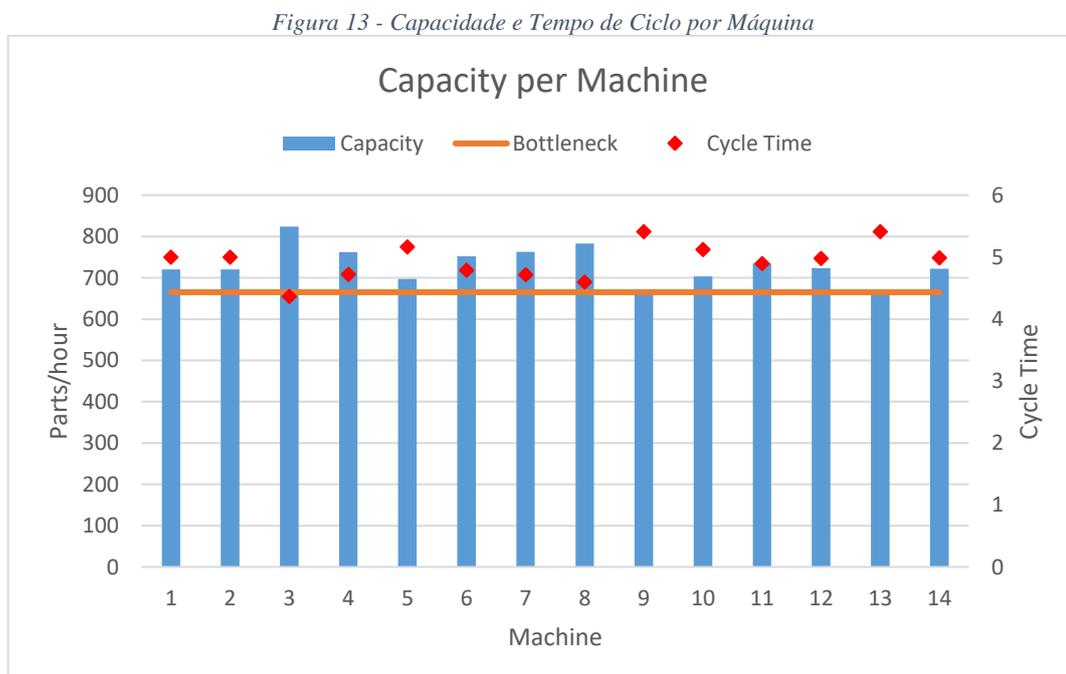
4. Estudo de Caso – Polo Industrial de Manaus

De modo a ter-se a parte prática atrelada a teoria já apresentada anteriormente, parte-se para um Estudo de Caso Prático em uma linha de produção real no PIM. Uma vez que a finalidade do estudo é apresentar uma abordagem prática daquilo visto na literatura e devido questões estratégicas industriais não serão apresentados os produtos, tampouco o nome da empresa onde o estudo foi realizado.

A linha de produção é formada por 14 máquinas interdependentes dispostas em série e funciona de forma semelhante a uma linha de montagem, uma vez que na entrada tem-se produtos acabados (produzidos em outras linhas de produção da fábrica), que tem valor agregado ao longo do processo.

O problema central consiste em obter um modelo que funcione como ferramenta para definir as condições operacionais otimizadas da planta, levando em consideração a organicidade ou interdependência entre as máquinas.

O gráfico da Figura 13 mostra a capacidade por hora de cada máquina individualmente e o respectivo tempo de ciclo.



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 14 são exibidos o detalhamento dos tempos de ciclo de cada máquina com as respectivas distribuições estatísticas.

Figura 14 - Tempo de ciclo e distribuição estatística por máquina



Fonte: Autoria Própria

A partir da modelagem matemática apresentada, a linha analisada foi modelada no *Tecnomatix® Plant Simulation* utilizando-se de informações reais de capacidade por equipamento, tempo de processamento, MTBF (Equação 2.5), MTTR (Equação 2.6), disponibilidade (Equação 2.7), dentre outros.

Os valores de MTBF e MTTR são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de MTTR e MTBF por máquina e por mês

Máquina	Fevereiro/2020			Março/2020		
	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidade	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidade
1	1,37	3429,18	99,96%	2,65	3783,06	99,93%
2	1,46	157,06	99,08%	1,36	48,70	97,28%
3	0,36	208,79	99,83%	0,97	213,85	99,55%
4	0,24	301,84	99,92%	0,92	653,85	99,86%
5	2,02	46,47	95,83%	1,09	64,18	98,33%
6	0,79	315,88	99,75%	-	-	-
7	2,80	633,56	99,56%	-	-	-
8	2,65	209,35	98,75%	1,37	216,44	99,37%
9	1,32	62,21	97,93%	0,81	92,52	99,13%
10	-	-	-	1,07	665,60	99,84%
11	0,50	624,50	99,92%	-	-	-
12	0,62	616,05	99,90%	0,62	616,05	99,90%
13	0,47	91,04	99,49%	0,53	666,13	99,92%
14	0,78	651,99	99,88%	-	-	-

Fonte: Autoria própria

Foram realizadas medições da capacidade e tempo de processamento de todas as máquinas componentes da linha modelada, valores estes que são *inputs* necessários durante uma modelagem no *Plant Simulation*.

Os dados de tempo de processamento foram inseridos na ferramenta *Input Analyzer* do *software Arena*[®]. Esta ferramenta realiza as análises dos dados inseridos e fornece a distribuição estatística, além dos respectivos parâmetros de distribuição. Esta distribuição é utilizada como parâmetro de entrada no *Plant Simulation*.

A Tabela 3 apresenta os dados das distribuições estatísticas dos tempos de processamento, capacidade, MTTR, disponibilidade para cada máquina da linha analisada em fevereiro de 2020.

Tabela 3 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Fevereiro/2020

Machine	Distribution	\bar{X}	S	Capacity	Availability	MTTR (s)	Cycle Time (s)
1	Uniform	-	-	1	99.96%	4940	3.60
2	Uniform	40.0	-	8	99.08%	5250	5.00
3	Normal	61.1	2.31	14	99.83%	1280	4.36
4	Uniform	406.0	1.42	86	99.92%	870	4.72
5	Weibull	25.8	1.02	5	95.83%	7280	5.16
6	Const	5527.4	-	1155	99.75%	2850	4.79
7	Triangle	61.3	1.6	13	99.56%	10080	4.72
8	Uniform	331.0	1.56	72	98.75%	9540	4.60
9	Erlang	32.4	0.962	6	97.93%	4734	5.41
10	Triangle	51.2	0.642	10	-	-	5.12
11	Normal	63.7	1.58	13	99.92%	1800	4.90
12	Const	234.0	-	47	99.90%	2220	4.98
13	Erlang	32.4	0.962	6	99.49%	1680	5.41
14	Constant	698.0	-	140	99.88%	2820	4.99

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 4 apresenta os dados das distribuições estatísticas dos tempos de processamento, capacidade, MTTR, disponibilidade para cada máquina da linha analisada em março de 2020.

Tabela 4 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Março/2020

Machine	Distribution	\bar{X}	S	Capacity	Availability	MTTR (s)	Cycle Time (s)
1	Uniform	-	-	1	99.93%	9540	3.60
2	Uniform	40.0	-	8	97.28%	4902	5.00
3	Normal	61.1	2.31	14	99.55%	3480	4.36
4	Uniform	406.0	1.42	86	99.86%	3300	4.72
5	Weibull	25.8	1.02	5	98.33%	3924	5.16
6	Const	5527.4	-	1155	-	-	4.79
7	Triangle	61.3	1.6	13	-	-	4.72
8	Uniform	331.0	1.56	72	99.37%	4940	4.60
9	Erlang	32.4	0.962	6	99.13%	2923	5.41
10	Triangle	51.2	0.642	10	99.84%	3840	5.12
11	Normal	63.7	1.58	13	-	-	4.90
12	Const	234.0	-	47	99.90%	2220	4.98
13	Erlang	32.4	0.962	6	99.92%	1920	5.41
14	Constant	698.0	-	140	-	-	4.99

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 5 apresenta outras atividades de rotina que são realizadas na linha e suas respectivas durações para os meses analisados. A inclusão destas atividades nas análises se faz necessária uma vez que impactam diretamente na produtividade.

Tabela 5 - Descrição de atividades de calendário produtivo

	Feb	Mar
Daily Cleaning	1 hour/day	1 hour/day
Weekly Cleaning	2 hours/week	2 hours/week
Preventive Maintenance	16 hours	13.4 hours

Fonte: Autoria Própria

Os dados descritos na Tabela 3 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Fevereiro/2020, na Tabela 4 - Dados estatísticos, capacidade e informações de manutenção. Março/2020 e na Tabela 5 - Descrição de atividades de calendário produtivo são os dados que foram inseridos no *Plant Simulation* para determinação do modelo.

A Tabela 6 apresenta as informações de quais os componentes utilizados na modelagem da linha no *Plant Simulation*, em seguida são apresentadas as definições de cada componente.

Tabela 6 - Componentes utilizados do Toolbox do Plant Simulation

<i>CATEGORY</i>	<i>COMPONENT</i>			<i>QUANTITY</i>
<i>Fluxo de Material</i>		<i>Source</i>	A	1
		<i>SingleProc</i>	B	1
		<i>ParallelProc</i>	C	13
		<i>PickAndPlace</i>	D	5
		<i>Line</i>	E	2
		<i>AngularConverter</i>	F	1
		<i>Drain</i>	G	1
		<i>Connector</i>	H	23
		<i>EventController</i>	I	1
<i>Recursos de Objetos</i>		<i>ShiftCalendar</i>	J	1
<i>Interface do Usuário</i>		<i>Display</i>	K	4
		<i>Chart</i>	L	1

Fonte: Autoria própria

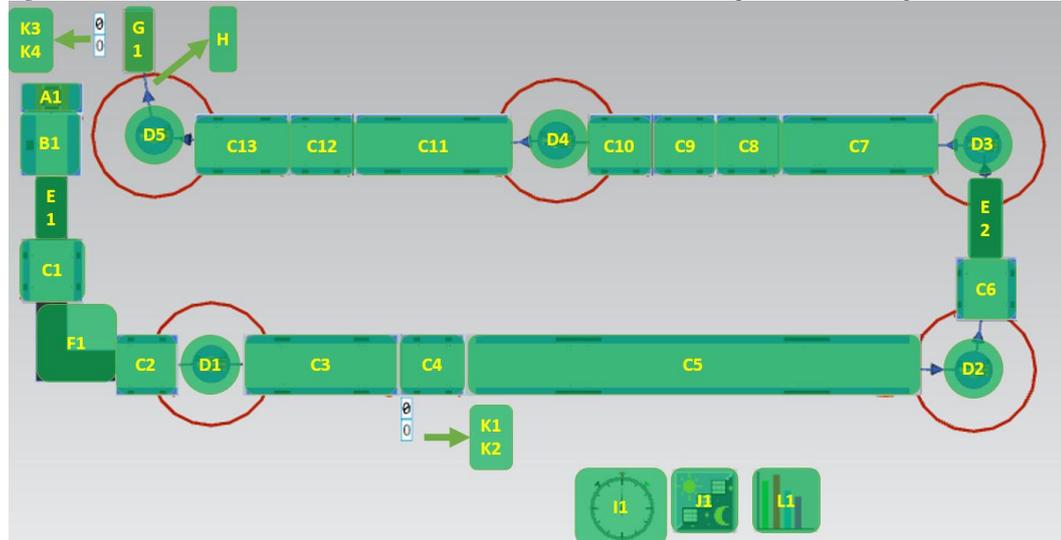
Abaixo são apresentadas definições e informações de cada componente:

- *Source*: Utilizado no início do fluxo, é o componente responsável pela “criação” das peças no fluxo. Representa no modelo a máquina onde a linha é alimentada.
- *Single Proc*: Máquinas ou estações que processam uma peça de cada vez.
- *Parallel Proc*: Máquinas ou estação que processam mais de uma peça por vez.
- *Pick and Place*: Robô com a finalidade de retirar a peça de uma máquina ou estação e enviar para a próxima etapa do fluxo.
- *Line*: Sistema de esteiras que fazem o transporte das peças e conexões entre as etapas do fluxo.
- *Angular Converter*: Sistema de esteiras que fazem o transporte das peças e conexões entre as etapas do fluxo alterando a direção do movimento, utilizado quando as máquinas não são colineares.

- *Drain*: Utilizado no término do fluxo, é o componente responsável pela remoção das peças do fluxo.
- *Connector*: Componente necessário para indicar e estabelecer os fluxos de materiais entre dois componentes. Trata-se de um item lógico e difere-se dos itens *Line* e *Angular Converter*, pois estes fazem parte do sistema real.
- *Event Controller*: Interface do usuário para coordenação e sincronização de todos os eventos durante a simulação. A partir deste componente as simulações são configuradas, iniciadas e finalizadas.
- *Shift Calendar*: Componente responsável por determinar os regimes de trabalhos em turnos para operadores e máquinas. Cada componente pode ser conectado a um *Shift Calendar* que será responsável por comandar os horários de funcionamento daquele componente.
- *Display*: Mostrador que exibe dados programáveis durante a execução da simulação.
- *Chart*: Ferramenta para apresentação de gráficos com dados e resultados da simulação executada.

A Figura 15 mostra a visão planificada da modelagem no *Plant Simulation* com a indicação de cada componente utilizado, conforme código descrito na terceira coluna da Tabela 6.

Figura 15 - Linha modelada no Tecnomatix Plant Simulation com as indicações de cada componente utilizado



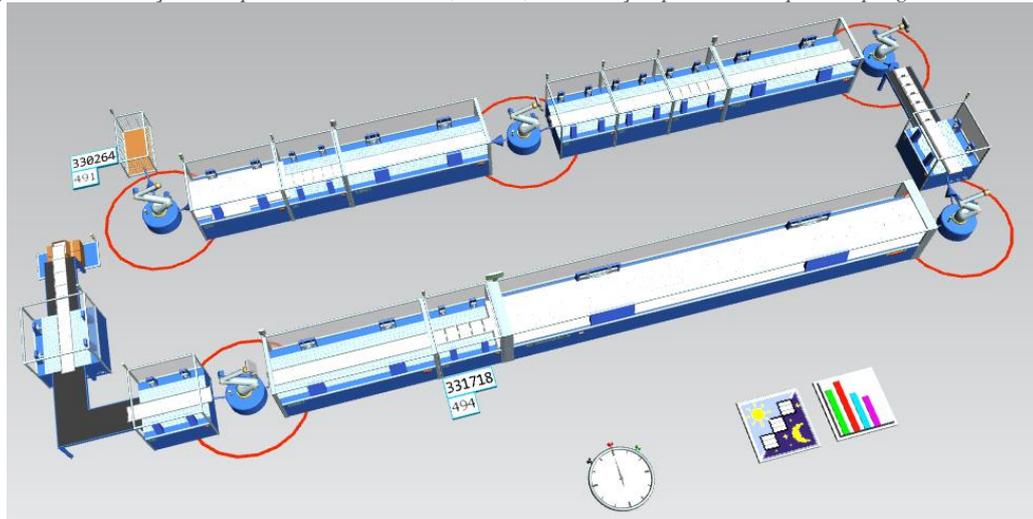
Fonte: Autoria própria

Tem-se na imagem quatro mostradores (K1, K2, K3 e K4) que exibem o total de peças processadas no intervalo de tempo simulado (K1 e K3) e a produção por hora (K2 e K4). Os mostradores presentes no meio da linha (K1 e K2) foram adicionados a fim de comparar os

dados para validação dos resultados, uma vez que este é o equipamento referência para as métricas de capacidade na linha estudada.

Os dados apresentados na Tabela 5 são inseridos no *Shift Calendar* (J1), que está vinculado com todas as máquinas (B e C). E o gerenciamento da simulação é feito através do *EventController* (I1). A Figura 16 mostra uma simulação concluída, referente ao mês de fevereiro de 2020.

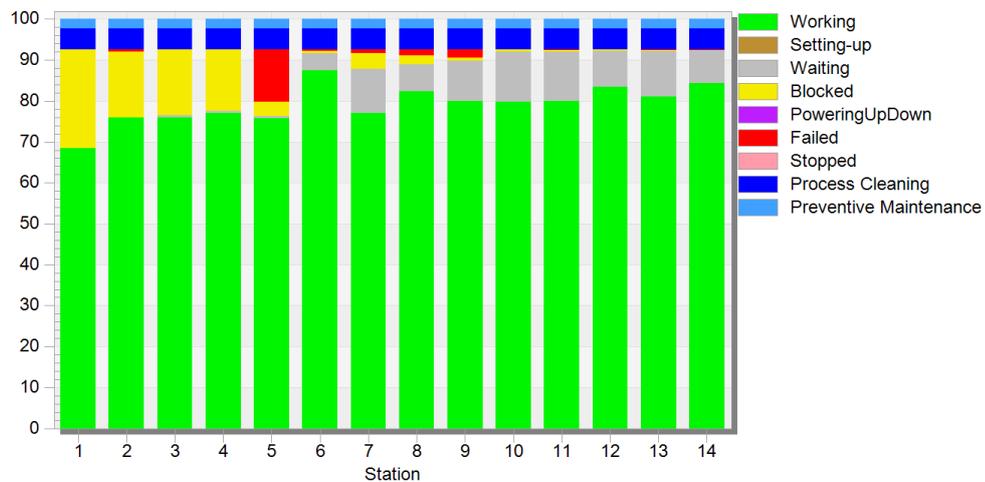
Figura 16 - Simulação com parâmetros de MTBF, MTTR, Manutenção preventiva e parada programada semanal.



Fonte: Autoria própria

O *software* permite a exibição de gráficos (L1) para análises da utilização dos recursos em cada equipamento da linha, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 – Gráfico de utilização por equipamento
Resource Statistics



Fonte: Autoria própria

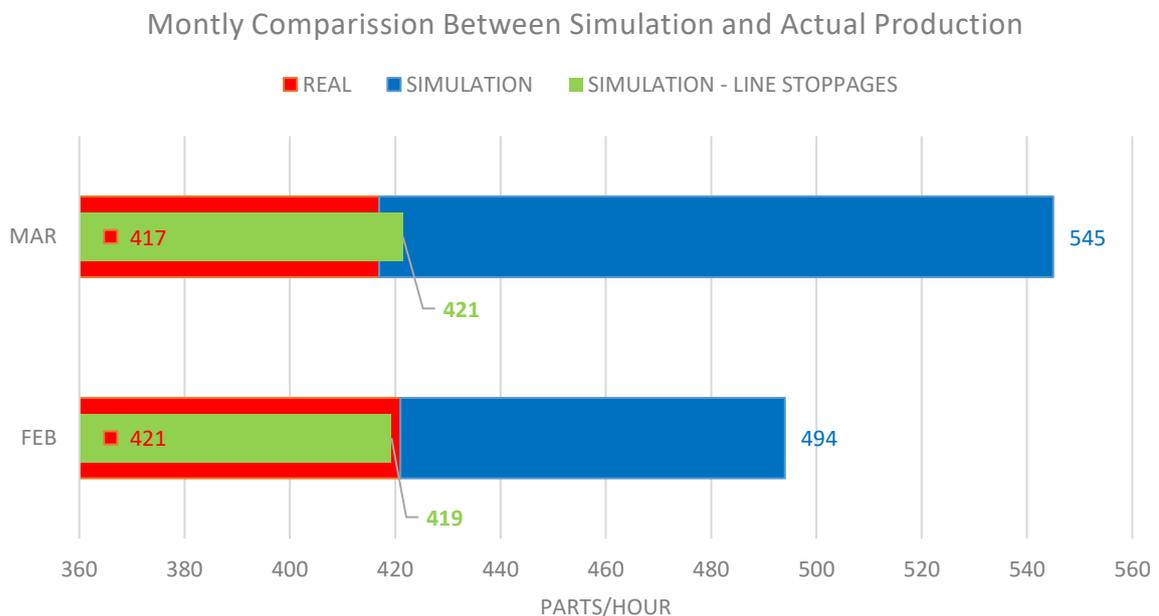
Os dados obtidos podem ser utilizados para planejamento da produção e estudos relacionados a utilização dos recursos produtivos disponíveis na linha.

Na próxima seção serão discutidas as abordagens para validação dos modelos.

4.1. Validação dos dados

Para fins de validação do modelo, foram realizadas comparações dos dados de produção real da fábrica com os dados obtidos por meio das simulações nos meses de fevereiro e março de 2020, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 - Gráfico de comparativo mensal entre valores obtidos por simulação e produção real



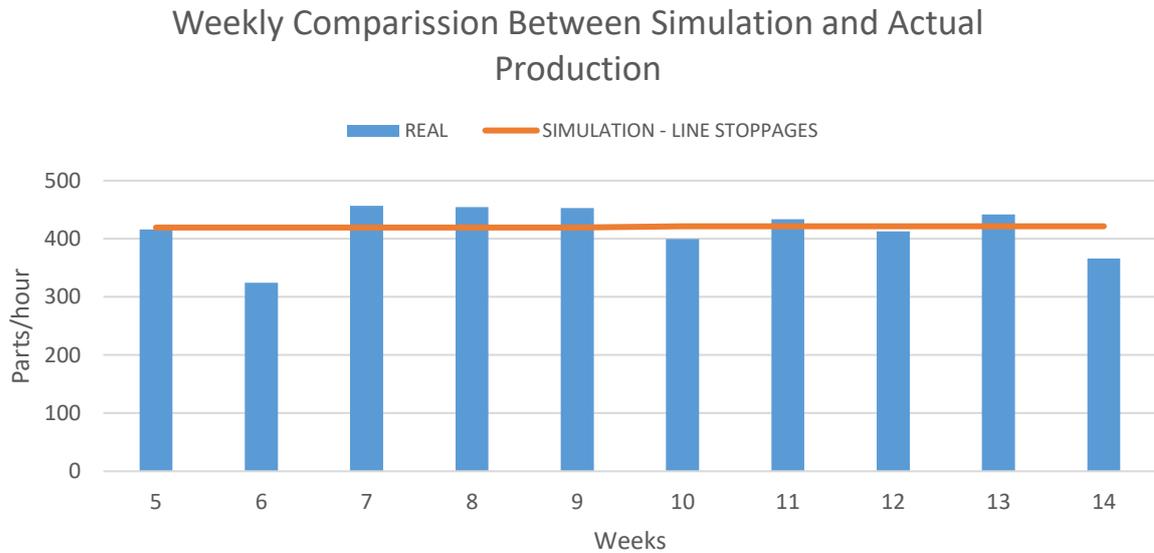
Fonte: Autoria própria

Após análise dos dados é possível observar que foi obtida uma produção horária nas simulações em fevereiro e março de 494 e 545 peças por hora, respectivamente. Estes valores são superiores à produção real na linha, que foi de 421 e 417.

Considerando-se os dados de paradas reais ocorridas na linha, que não são contemplados na simulação, é possível calcular a produção perdida em decorrência destas paradas. Tem-se, então, novos valores de produtividade que foram de 419 e 421, respectivamente, o que representa uma diferença de 0.40% no primeiro mês e -1.07% no segundo mês.

A fim de ampliar a confiabilidade dos resultados e do modelo, tem-se a mesma análise comparativa em termos semanais, conforme mostra o gráfico da Figura 19

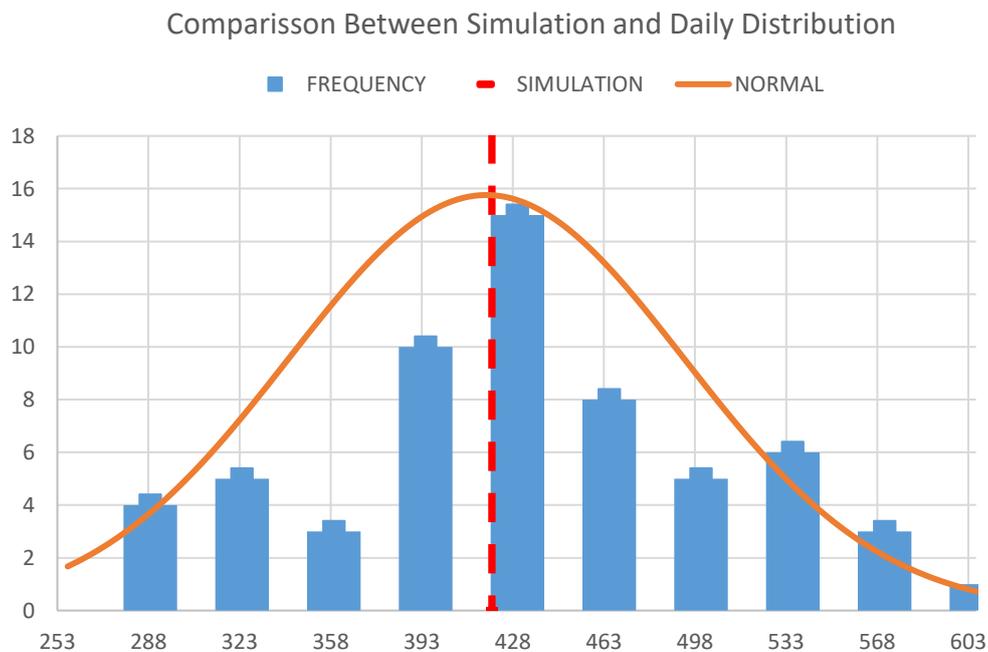
Figura 19 - Gráfico de comparativo semanal entre valores obtidos por simulação e produção real



Fonte: Autoria própria

Tem-se no total 60 dias de produção referentes aos meses de fevereiro e março de 2020, a Figura 20 representa a distribuição estatística dos 60 dias com o histograma de classes, a curva normal da distribuição e o indicativo de produção obtido por meio de simulação computacional no período indicado.

Figura 20 – Distribuição Diária de Produção



Fonte: Autoria própria

Observa-se que os valores obtidos na simulação estão próximos à realidade na linha estudada. Mesmo que existam pequenas variações o modelo adotado pode ser utilizado para futuras tomadas de decisões e planejamento estratégico da empresa. Estas variações representam as variabilidades no processo e condições que não puderam ser notadas e transmitidas à simulação.

5. Conclusão

O presente trabalho trouxe como objetivo principal propor um modelo para tomada de decisão em uma linha de produção, linha esta sediada no PIM dedicada ao ramo médico-hospitalar com produtos ópticos.

Este objetivo foi concluído a partir do desenvolvimento da virtualização desta linha no *software Tecnomatix® Plant Simulation*. Tem-se, então, uma réplica virtual da linha analisada, que pode servir como parâmetro para quaisquer mudanças em termos físicos ou estratégicos no âmbito de produção. Uma vez que o modelo virtual está pronto, testes de readequações ou alterações podem ser realizados neste modelo sem a utilização de recursos físicos e/ou financeiros para tal.

Além da virtualização propriamente dita, buscou-se mostrar que o modelo desenvolvido reflete a realidade de uma linha de produção e que pode ser amplamente utilizado em outros ramos e indústrias. Para isto, foram comparados os resultados obtidos nas simulações com os números reais da linha de produção no momento das análises, os resultados destes comparativos ficam claros na seção 4.1 Validação dos dados.

A utilização deste comparativo serve como embasamento de modo a garantir que um modelo virtual pode ser utilizado como ferramenta estratégica nas tomadas de decisões, uma vez que os resultados obtidos em simulações refletem os resultados que seriam obtidos com alterações no sistema real.

Para que todo o trabalho fosse desenvolvido e para que fossem obtidos sustentação e embasamento, o primeiro objetivo específico visou realizar a revisão sistemática da literatura. Com isto diferentes nomes no âmbito do tema desta pesquisa foram amplamente explorados, de modo que as contribuições dos autores pudessem trabalhar de maneira complementar.

Em um primeiro momento estas literaturas serviram como referência a esta pesquisa e objetivava-se, após a conclusão deste trabalho, que o mesmo entre também para este grupo de referências em uma área da Engenharia de Produção que cresceu mais de 600% em 10 anos, conforme é exemplificado na seção 2.3.1 Tecnomatix Plant Simulation, especificamente na Figura 10 - Publicações por ano - Base Scopus.

Após o embasamento teórico-científico inicia-se o segundo objetivo específico que visa analisar o processo com a coleta de dados, os quais foram utilizados como base na modelagem matemática e, por conseguinte, computacional.

Nesta etapa do processo de virtualização a modelagem matemática é fundamental, a fim de garantir que o modelo virtual replique com exatidão o modelo real. Uma modelagem

matemática mal estruturada resultaria em divergências cruciais entre ambos os modelos. Por este motivo foram coletados dados a partir de cronoanálises e extrações dos sistemas SCADA.

Os objetivos específicos três e quatro se complementam, uma vez que a partir da modelagem concluída (Objetivo 3), é possível utilizar o modelo para futuras simulações, análises de intervenções e planejamento (Objetivo 4).

Este modelo foi apresentado na seção 4 Estudo de Caso – Polo Industrial de Manaus, onde constam todas as informações inerentes à modelagem e modelos, bem como os componentes utilizados dentro do *software* para o desenvolvimento da virtualização.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se que modelos e metodologias semelhantes aos desenvolvidos nesta pesquisa sejam aplicados tanto em outros ramos da indústria quanto em outras etapas da cadeia produtiva, esta abordagem visa reduzir custos operacionais e agilizar tomadas de decisões ou modificações em processos.

6. Contribuições

Nesta seção serão apresentadas as principais contribuições desta pesquisa nos âmbitos acadêmico, econômico e social.

6.1. Contribuições Acadêmicas

Na esfera acadêmica esta pesquisa corrobora com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, com aumento da relevância do programa ao incluí-lo em um tema pertinente que apresenta forte taxa de crescimento e possui tendência de evoluir ainda mais nos próximos anos.

Além disto, esta pesquisa aproxima a academia da indústria, algo que por vezes não é comum, mas extremamente necessário, pois ao aliar as duas frentes se tem maior robustez no desenvolvimento de novas ferramentas e resolução de problemas.

6.2. Contribuições Econômicas

Ao se falar de simulações discretas e virtualização, tem-se como um dos pilares o baixo custo envolvido na realização de testes que permitem identificar o resultado de modificações ou entender quão efetiva uma alteração é de fato.

As empresas buscam reduzir custos a todo momento e ao incluir uma ferramenta que permite reduzir ou até mesmo eliminar um determinado custo tem-se um novo precedente para aplicação e ampliação deste modelo de análise.

6.3. Contribuições Sociais

A pesquisa e o conhecimento aplicado contribuem diretamente com os avanços da ciência, esta, por sua vez, anda lado a lado com a evolução das sociedades, auxiliando e criando novas ferramentas que busquem contribuir com as diferentes esferas da sociedade.

A conclusão e aprovação de uma dissertação de Mestrado Profissional entrega à sociedade um profissional capacitado e apto a aplicar a ciência a seu favor. O aspirante à conclusão de um curso de Mestrado Profissional está, normalmente, inserido em ambientes de trabalho e leva os problemas de fora dos muros da academia para que sejam solucionados com a aplicação de uma metodologia científica, unindo os pontos fortes de ambos os lados.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE-GUTIERREZ, E. S.; CARRANZA-BERNAL, S. Y.; HERNANDEZ-SANDOVAL, J.; GONZALEZ-VILLARREAL, A. J.; BERBER-SOLANO, T. P. Optimization in a flexible die-casting engine-head plant via discrete event simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. p. 4459 – 4468. 2018. Disponível em: <<http://web-a-ebsohost.ez2.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=35caed01-bac2-4934-a18d-a815a9229ecf%40sessionmgr4008>>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- ANTUNES, J. G.; PINTO, A.; REIS, P.; HENRIQUES, C. Industry 4.0: A challenge of competition. *Millenium*, 2 (6). p. 89 – 97. 2018. Disponível em <<https://revistas.rcaap.pt/millenium/article/view/13459>>. Acesso em: 17 mai 2020.
- BARBETTA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antônio Cezar. *Estatística para Cursos de Engenharia e Informática*. São Paulo: Atlas, 2004.
- BANGSOW, Steffen. *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. Berlin Heidelberg: Springer, 2010.
- BARROS NETO, Benício; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. *Como Fazer Experimentos - Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria*. Campinas: Editora da Unicamp, 2001.
- BLAGA, Florin; STANĂȘEL, Iulian; HULE, Voichița; POP, Alin. Balancing the manufacturing lines through modelling and simulation using Tecnomatix Plant Simulation. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 112. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318112403_Balancing_the_manufacturing_lines_through_modelling_and_simulation_using_Tecnomatix_Plant_Simulation/link/595a5d8eaca2728a137ab156/download>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- DALENOGARE, Lucas Santos; BENITEZ, Guilherme Brittes; AYALA, Néstor Fabían; FRANK, Alejandro Germán. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*. Vol 204. 2018. p. 383 – 394. Disponível em: <<https://www->

sciencedirect.ez2.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0925527318303372?via%3Dihub>. Acesso em: 17 mai. 2020.

DANEELS, A. SALTER, W. WHAT IS SCADA? International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Trieste, Italy. p. 339 – 343. 1999. Disponível em: <<https://cds.cern.ch/record/532624/files/mc1i01.pdf>>. Acesso em: 15 jul 2020.

DANILCZUK, Woljciech. The Use Of Simulation Environment For Solving The Assembly Line Balancing Problem. Applied Computer Science. v. 14. n. 1. p. 42 – 52. 2018. Disponível em: <<https://doaj.org/article/16845e4b769b46e191c0f53b14d62ff3>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

DEBEVEC, Mihael; HERAKOVIC, Niko; SIMIC, Marko. Virtual Factory as an Advanced Approach for Production Process Optimization. International Journal of Simulation Modelling, v. 13, n. 1, p.66-78, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275912760_Virtual_Factory_as_an_Advanced_Approach_for_Production_Process_Optimization>. Acesso em: 15 abr. 2019.

DIAS, Luis. VIEIRA, António. PEREIRA, Guilherme. OLIVEIRA, Jose. Discrete simulation software ranking — A top list of the worldwide most popular and used tools. Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference. p. 1060-1071, 2016. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/46321/1/wsc16%20Tools%20Ranking%20-%20submitted%2016%270701.pdf>>. Acesso em 05 jun 2021

DOBRESCU, Radu; MEREZEANU, Daniel; MOCANU, Stefan. Process simulation platform for virtual manufacturing systems evaluation. Computers in Industry. v. 104. p 131 – 140. 2019. Disponível em <<https://www-sciencedirect.ez2.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0166361517306218?via%3Dihub>> . Acesso em: 05 jan. 2020.

DUMITRASCU, Nicolae-Adrian; DINCA, Alexandru; PREDINCEA, Nicolae. Virtual Commissioning of a Robotic Cell Using Tecnomatix Process Simulate. Annals of the Academy of Romanian Scientists. Series on Engineering Sciences. v. 9, n. 1. p. 45 – 60. 2017. Disponível em: <<http://aos.ro/wp-content/anale/TVol9Nr1Art.5.pdf>>. Acesso em 07 abr. 2019.

FEDORKO, G. ; MOLNAR, V. ; VASIL, M. ; HANZL, J. Application of the tecnomatix plant simulation program to modelling the handling of ocean containers using the AGV system. *Nase More*. 2018, Vol.65(4), p.230-236. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328882969_Application_of_the_Tecnomatix_Plant_Simulation_Program_to_Modelling_the_Handling_of_Ocean_Containers_using_the_AGV_System>. Acesso em: 05 jan. 2020.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social / Antonio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo : Atlas, 2008

GUERRERO, Luis Villagómez; LÓPEZ, Virgilio Vásquez; MEJÍA, Julián Echeverry. Virtual commissioning with process simulation (tecnomatix). *Computer-aided design and applications*, 2014. p. 11 – 19. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/16864360.2014.914400?needAccess=true>>. Acesso em 07 abr. 2019.

INDUCTIVE AUTOMATION. WHAT is SCADA? 2018. Disponível em <<https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

KHANDELWAL, Tanuj. Infusing SCADA Software with Real-Time Power Management Capabilities. *Power Engineering*. 2013. Disponível em: < <http://web-b-ebsohost.ez2.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=34f97ee1-2579-4bd7-8582-2e5eab7ae630%40pdc-v-sessmgr05> >. Acesso em: 27 dez. 2019.

KIKOLSKI, Mateusz. Study of production scenarios with the use of simulation models. *Seventh International Conference on Engineering, Project, and Production Management. Procedia engineering*, v. 182, p. 321-328, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817312389>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. Technical report, Keele University and NICTA, 2004. Disponível em: <http://www.elizabete.com.br/rs/Tutorial_IHC_2012_files/Conceitos_RevisaoSistematica_kitchenham_2004.pdf>. Acesso em: 15 jul 2020.

KUNATH, Martin; WINKLER, Herwig. Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process; 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2018. Disponível em: < <https://www-sciencedirect.ez2.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2212827118303512?via%3Dihub>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

LEE, Yongseok; KO, Changjun; LEE, Hodong; JEON, Kyeongwoo; SHIN, Seolin; HAN, Chonghun. Interactive plant simulation modeling for developing an operator training system in a natural gas pressure-regulating station. *Petroleum Science*. v. 14, issue 3. p 529 – 538. 2017. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez2.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12182-017-0170-5>>. Acesso em: 10 jan. 2020

LU, Lu; LI, Cancan; YANG, Yubin. Research on comprehensive virtualization performance evaluation method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. v. 32. p. 3633 – 3640. 2017. Disponível em: < <http://web-b-ebshost.ez2.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=bbe91956-af11-48f5-8032-3268aeceb733%40sessionmgr103>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

LU, Yuqian; XU, Xun; Resource virtualization: A core technology for developing cyber-physical production systems. *Journal of Manufacturing Systems* 47. p. 128 – 140. 2018. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez2.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0278612518300657?via%3Dihub>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

“Otimizar”. In *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa*, 2018. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/otimizar>>. Acesso em 29 mar. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade. LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 5^a ed. São Paulo. Editora Atlas, 2003.

MÁS, Aída Sáez; GARCÍA-SABATER, José P.; LLORCA, Joan Morant ; MAHEUT, Julien. Assembly plant simulation to support decision-making n Layout Design considering safety issues. A case study. WPOM : Working Papers on Operations Management, 01 December 2016,

Vol.7(2), p.64-88. Disponível em: <<https://polipapers.upv.es/index.php/WPOM/article/view/4721/6603>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

PRESTES, Maria Luci de Mesquita. A pesquisa e a construção do conhecimento científico: do planejamento aos textos, da escola à academia. 3ª ed., 1 reimp. – São Paulo: Rêspel, 2008.

PUTRA, Zulfan Adi. Use of Process Simulation for Plant Debottlenecking. Indonesian Journal of Science & Tecnhnology. n. 1. p. 74- 81. 2016. Disponível em: <<https://doaj.org/article/bbcb96fa96394f338a77cb5f02db442a?frbrVersion=2>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

RODIČ, Blaž. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. Organizacija. Vol 50, n. 3. 2017. p. 193-207. Disponível em: < <http://organizacija.fov.uni-mb.si/index.php/organizacija/article/view/778>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

ROLLE, Rodrigo Pita; MARTUCCI, Vinicius de Oliveira; GODOY, Eduardo Paciência. Architecture for Digital Twin implementation Focusing on Industry 4.0. IEEE Latin America Transactions, vol. 18, n. 5. 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore-ieee.org.ez2.periodicos.capes.gov.br/document/9082917>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

RUŽAROVSKÝ, Roman; HOLUBEK, Radovan; SOBRINO, Daynier Rolando Delgado. Virtual Commissioning Of A Robotic Cell Prior To Its Implementation Into A Real Flexible Production System. Research Papers Faculty Of Materials Science And Technology In Trnava. Volume 26, Number 42. 2018. Disponível em: < <https://content.sciendo.com/view/journals/rput/26/42/article-p93.xml>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T.D.F.M; CHARRUA-SANTOS, F.M.B. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, v.4, n.1, p.111-124, 2018. Disponível em: < <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316/193>>. Acesso em: 17 mai. 2020.

SEO, Jeong Hoon. KIM, Hwan Kap. Automating Model Building Processes for Simulation of

Complex Manufacturing and Logistics Systems. Journal of the Korea Society for Simulation. Volume 27, no. 2. p. 125-137. 2018. Disponível em: <<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201819757620694.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

SOBRINO, Daynier Rolando Delgado. RUŽAROVSKÝ, Roman. HOLUBEK, Radovan. VELÍŠEK, Karol. Into the early steps of Virtual Commissioning in Tecnomatix Plant Simulation using S7-PLCSIM Advanced and STEP 7 TIA Portal. MATEC Web of Conferences 299, 02005. 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/337677765_Into_the_early_steps_of_Virtual_Commissioning_in_Tecnomatix_Plant_Simulation_using_S7-PLCSIM_Advanced_and_STEP_7_TIA_Portal/link/5de50d2aa6fdcc2837fd7c9d/download>. Acesso em: 05 jan. 2020.

SIDERSKA, Julia. Application of Tecnomatix Plant Simulation for Modeling Production and Logistics Processes. Business, Management and Education, ISSN: 2029-7491. 2016. Disponível em: <<https://journals.vgtu.lt/index.php/BME/article/view/2150/1735>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

TAKT TIME vs Cycle Time vs Lead Time. Disponível em: <<https://toggl.com/takt-time-cycle-time-lead-time/>>. Acesso em: 28 dez. 19.

TAY, Shu Ing. CHUAN, Lee Te. AZIATI, A. H. Nor. AHMAD, Ahmad Nur Aizat. An Overview of Industry 4.0 Definition, Components, and Government Initiatives. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 14-Special Issue, p. 1379 – 1387. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332440369_An_Overview_of_Industry_40_Definition_Components_and_Government_Initiatives>. Acesso em: 17 mai. 2020.

Tecnomatix Plant Simulation. Disponível em: <<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

TERKAJ, Walter. TOLIO, Tullio. URGO, Marcello. A virtual factory approach for in situ simulation to support production and maintenance planning. *CIRP Annals*. Volume 64, Issue 1. 2015. p 451 - 454. Disponível em: . Acesso em: 15 dez. 2019.

TURPIN Jr. Lonnie. A note on understanding cycle time. *International Journal of Production Economics*. Volume 205. 2018. p 113 – 117. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527318303748>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

VERDOUW, C. N; BEULENS, A. J. M; REIJERS, H. A; VAN DER VORST, J. G. A. J. A control model for object virtualization in supply chain management. *Computers in Industry*. n 68. p. 116 – 131. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez2.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0166361514002164?via%3Dihub>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

VIEIRA, R. R. S.; CORREIA, A. M. M.; LUCENA, A. D.; SILVA, A. M. Estudo de tempos e métodos no processo produtivo de uma panificadora localizada em Mossoró/RN. *Gestão e Sociedade*, v. 9, n. 23, p. 977-999, 2015. Disponível em: <<https://www.gestaoesociedade.org/gestaoesociedade/article/view/2029>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

YAP, Hwa Jen. TAHA, Zahari. DAWAL, Siti Zawiah Md; CHANG, Siow-Wee. Virtual Reality Based Support System for Layout Planning and Programming of an Industrial Robotic Work Cell. *PLOS One*. Volume 9. Issue 10. 2014. Disponível em < <http://web-b-ebsohost.ez2.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=9669d5aa-5c36-41a0-bbee-de25df1796f2%40pdc-v-sessmgr04>>. Acesso em 15 dez 2019.

ANEXO A – ARTIGOS UTILIZADOS NA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Autores	Título	Ano	Fonte
Kormin T.G., Ovchinnikova V.A., Tsumbu J.-D.B	Simulation modeling of manufacturing"	2021	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Daneshjo N., Malega P	Proposal of the Reworking Station Model using Plant Simulation"	2021	TEM Journal
Murugesan V.S., Jauhar S.K., Sequeira A.H	Applying simulation in lean service to enhance the operational system in Indian postal service industry"	2021	Annals of Operations Research
Gola A., Pastuszak Z., Relich M., Sobaszek Ł., Szwarz E	Scalability analysis of selected structures of a reconfigurable manufacturing system taking into account a reduction in machine tools reliability"	2021	Eksploatacja i Niezawodnosc
Pekarcikova M., Trebuna P., Kliment M., Mizerak M., Kral S	Simulation testing of the e-kanban to increase the efficiency of logistics processes"	2021	International Journal of Simulation Modelling
Lang S., Reggelin T., Müller M., Nahhas A	Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools?"	2021	Procedia Computer Science
Rizky Alfiansyah N., Awibowo S., Saraswati T	Increase Productivity by Eliminating Waste and Using Systematic Layout Planning in Airline Catering Service"	2020	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Istokovic D., Perinic M., Vlatkovic M., Brezocnik M	Minimizing total production cost in a hybrid flow shop: A simulation-optimization approach"	2020	International Journal of Simulation Modelling
Russkikh P.A., Kapulin D.V	Simulation modeling for optimal production planning using Tecnomatix software"	2020	Journal of Physics: Conference Series
Widyastuti, Sulistya F.F., Pratiwi V.M., Jatimurti W., Ardyananta H	Design of frangible composite production process and plant layout with powder metallurgy method and capacity of 50.000.000 Rounds/Year"	2020	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Bonfante A., Basile A., Bouma J	Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal"	2020	SOIL
Bouma J	Contributing pedological expertise towards achieving the United Nations Sustainable Development Goals"	2020	Geoderma
Amri N.N., Sofianti T.D., Mahendra A	Laundry System Optimization on an In-flight Service Company"	2020	ACM International Conference Proceeding Series
Haseeb A	General Analysis and Simulation of Surgical Instrument Sterile Processing Unit Using Arena"	2020	2020 International Conference on Computing and Information Technology, ICCIT 2020
Makarova I., Buyvol P., Gubacheva L	Creation of a Digital Twin of a Truck Assembly Process"	2020	Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020
Bambura R., Šolc M., Dado M., Kotek L	Implementation of digital twin for engine block manufacturing processes"	2020	Applied Sciences (Switzerland)
Mahmud K., Sahoo A.K., Fernandez E., Sanjeevikumar P., Holm-Nielsen J.B	Computational Tools for Modeling and Analysis of Power Generation and Transmission Systems of the Smart Grid"	2020	IEEE Systems Journal
Bambura R., Sujová E., Čierna H	Utilizing computer simulation to optimize furniture production system"	2020	BioResources
Turner B.L., Kodali S	Soil system dynamics for learning about complex feedback-driven agricultural resource problems: model development evaluation and sensitivity analysis of biophysical feedbacks"	2020	Ecological Modelling
Pekarčíková M., Třebuňa P., Kliment M., Edl M., Rosocha L	Optimization of technological Jigs flow in automotive using software module tecnomatix plant simulation"	2020	Acta Logistica

Pekarcikova M., Trebuna P., Kliment M., Rosocha L	Material flow optimization through e-kanban system simulation"	2020	International Journal of Simulation Modelling
Ariza L.V.P., Jimenez H.A.F	Optimizing production capacity in a food company using discrete event simulation [Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos]"	2020	Ingeniare
Shivakumara B.S., Sachin N.K., Sridhar V	Impact of buffer distribution in precision manufacturing processes through simulation methods"	2020	International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development
Herrera J.P	Convergent evolution in lemur environmental niches"	2020	Journal of Biogeography
Shafiq M., Waqas M., Shahzad K., Rashid Z., Ali A., Islam M.A., Bilal M., Hameed U	Optimizing throughput WIP and cycle time: A case study of utensils manufacturing shop floor	2020	Journal of Engineering Research (Kuwait)
Trebuna P., Pekarcikova M., Kliment M	Testing the replenishment model strategy using software tecnomatix plant simulation"	2020	EAI/Springer Innovations in Communication and Computing
Grabowik C., Ćwikła G., Kalinowski K., Kuc M	A Comparison Analysis of the Computer Simulation Results of a Real Production System: Production System Modelling with FlexSim and Plant Simulation Software"	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing
Trebuňa P., Pekarčíková M., Kliment M	Inventory Replenishment Strategy Proposals Using a Software Tool Tecnomatix Plant Simulation"	2020	EAI/Springer Innovations in Communication and Computing
Kliment M., Trebuňa P., Pekarčíková M	The Proposal to Increase the Efficiency of the Production Process by a Software Module Tecnomatix Plant Simulation"	2020	EAI/Springer Innovations in Communication and Computing
Vernickel K., Brunner L., Hoellthaler G., Sansivieri G., Härdtlein C., Trauner L., Bank L., Fischer J., Berg J	Machine-learning-based approach for parameterizing material flow simulation models"	2020	Procedia CIRP

Kłos S., Patalas-Maliszewska J	Using the simulation method for modelling a manufacturing system of predictive maintenance"	2020	Advances in Intelligent Systems and Computing
Halim N.N.A., Shariff S.S.R., Zahari S.M	Modelling an automobile assembly layout plant using probabilistic functions and discrete event simulation"	2020	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Jurczyk-Bunkowska M	Using Discrete Event Simulation for Planning Improvement in Small Batch Size Manufacturing System"	2020	Studies in Systems, Decision and Control
Al Ithawi K., Yee K., Abro S., Hussain M.I	Optimization analysis in a new engine block manufacturing system using simulation approach"	2020	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Patil S.V., Gaitonde V.N., Kulkarni V.N., Kulkarni S.V	Rearranging and Optimizing of Butterfly Valve Manufacturing Layout Using Simulation"	2020	Lecture Notes in Mechanical Engineering
Nyemba W.R., Kapumha Z.B., Mushiri T., Mbohwa C	Modelling simulation and optimisation of the comminution and flotation circuits of platinum for sustainable mineral processing	2020	International Journal of Sustainable Manufacturing
Al Ithawi K., Yee K., Abro S., Hussain M.I	The effect of machine layout on engine block manufacturing system profitability and rate of return"	2020	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Zahraee S.M., Mokhtar A.A., Toloie A., Mohd Asri N.A	Performance Evaluation of EFB Biomass Supply Chain for Electricity Power Generation Based on Computer Simulation: Malaysia Case Study"	2020	Lecture Notes in Mechanical Engineering
Telli D., Berberoğlu Y., Karadeniz G., Uzun D.Y., Baykal E., Yüksel D., Kazançoğlu Y	The Modification and the Line Balancing of an Assembly Line for the Inclusion of a New Product Model"	2020	Lecture Notes in Mechanical Engineering

Thenarasu M., Rameshkumar K., Anbuudayasankar S.P., Arjunbarath G., Ashok P	Development and selection of hybrid dispatching rule for dynamic job shop scheduling using multi-criteria decision making analysis (MCDMA)"	2020	International Journal for Quality Research
Arshad M., Burli S.B., Gaitonde V.N., Kotturshettar B.B	Simulation and analysis of plant layout in chip conveyor manufacturing industry"	2019	AIP Conference Proceedings
Chayaphum A., Supsomboon S., Butrat A	The Optimal Number of Reach Trucks and Order Picker Trucks in Warehouse Determining Using Simulation"	2019	RI2C 2019 - 2019 Research, Invention, and Innovation Congress
Pravin Kumar S.K., Sumithra M.G., Saranya N	Artificial bee colony-based fuzzy c means (ABC-FCM) segmentation algorithm and dimensionality reduction for leaf disease detection in bioinformatics"	2019	Journal of Supercomputing
Pattar M.V., Kulkarni V.N., Gaitonde V.N	Simulation study and analysis of plant layout in tin container industry"	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Feng Y., Gao G	Design and simulation study on logistics planning in automatic plant factory based on tecnomatix plant simulation"	2019	Proceedings - 2019 2nd World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing, WCMEIM 2019
Knapčiková L., Behúnová A., Behún M	Workplace optimization in the manufacturing enterprise supported by digitalization software"	2019	TEM Journal
Ccapa-Rojas M., Mechato-Yovera I., Castro-Rangel P	Maintenance Management system based on reliability in a company of the timber sector"	2019	2019 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería, CONIITI 2019 - Conference Proceedings
Blaga F.S., Stănaşel I., Pop A., Hule V., Buidos T	Performance evaluation of the support bush manufacturing line by modeling and simulation"	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

Iskandarov M., Khisamutdinov R	Simulation as a tool for supporting assembly systems"	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Sharma J., Jayant A., Tyagi M	Simulation based design of Production and Multi echelon supply chain network for job shop manufacturing environment: A Case Study"	2019	Journal of Physics: Conference Series
Phanindra Kshatra D., Ratna Prasad P., Kalamulla M., Sai Krishna P., Sai P.B.L.N	Analyze the production system of an body-in-white system through modelling and perform bottleneck optimization using simulation software	2019	International Journal of Recent Technology and Engineering
Kliment M., Trebuna P., Trojan J	Improvement of Production Process Parameters on the Surface Treatment Line by using TX Plant Simulation Software Tool"	2019	Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies 2019, IDT 2019
Kikolski M	Sample measurement of the ISO 22400 standard key performance indicators with the use of simulation models"	2019	2019 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2019
Slovak J., Vasek P., Simovec M., Melicher M., Sismisova D	RTLS tracking of material flow in order to reveal weak spots in production process"	2019	Proceedings of the 2019 22nd International Conference on Process Control, PC 2019
Sujová E., Čierna H., Zabińska I	Application of digitization procedures of production in practice"	2019	Management Systems in Production Engineering
Trebuna P., Pekarcikova M., Edl M	Digital value stream mapping using the tecnomatix plant simulation software"	2019	International Journal of Simulation Modelling

Guseva E., Efimova I., Varfolomeyeva T	Simulation modeling of transport flows of copper deposit"	2019	2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019
Bouma J	How to communicate soil expertise more effectively in the information age when aiming at the UN Sustainable Development Goals"	2019	Soil Use and Management
Sebestyénová J., Kurdel P	Ambulance car logistics using shortest path achievement tree in plant simulation"	2019	CHIRA 2019 - Proceedings of the 3rd International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications
Pekarčíková M., Trebuňa P., Kliment M	Application of simulation tools in the process of casting and processing of aluminium castings"	2019	METAL 2019 - 28th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings
Mayr A., Lechler T., Donhauser T., Metzner M., Schäffer E., Fischer E., Franke J	Advances in energy-related plant simulation by considering load and temperature profiles in discrete event simulation"	2019	Procedia CIRP
Fedorko G., Vasil M., Bartosova M	Use of simulation model for measurement of MilkRun system performance"	2019	Open Engineering
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	Simulation modeling of assembly processes for digital manufacturing"	2019	Lecture Notes in Mechanical Engineering
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	An analysis of simulation models in a discrete manufacturing system using artificial neural network"	2019	Lecture Notes in Electrical Engineering
Ney G.M.A., Fortes M.Z	Commissioning integrated process at industrial plants"	2019	Acta Polytechnica Hungarica
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	An analysis of the efficiency of a parallel-serial manufacturing system using simulation"	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing

Ištoković D., Perinić M., Jurković Z	Minimizing the makespan in the flowshop with sequence-dependent setup times: Simulation approach"	2019	Mechanical Technology and Structural Materials
Kliment M., Trebuňa P., Mizerák M	Surface treatment of steel and verification the production line which is handled help by simulation	2019	METAL 2019 - 28th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	The use of the simulation method in analysing the performance of a predictive maintenance system"	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing
Baskaran S., Niaki F.A., Tomaszewski M., Gill J.S., Chen Y., Jia Y., Mears L., Krovi V	Digital human and robot simulation in automotive assembly using siemens process simulate: A feasibility study"	2019	Procedia Manufacturing
Ištoković D., Perinić M., Doboviček S., Bazina T	Simulation framework for determining the order and size of the product batches in the flow shop: A case study"	2019	Advances in Production Engineering And Management
Yusuf M.M., Karam A., Eltawil A.B	A stochastic optimization approach of flow shop sequencing problem for on-time delivery of precast components"	2019	ICORES 2019 - Proceedings of the 8th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems
Caputo F., Greco A., Fera M., Caiazzo G., Spada	Simulation techniques for ergonomic performance evaluation of manual workplaces during preliminary design phase"	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing
Lee J., Kim J., Kim Y.G	Estimation of operator's required time in emergency operations for digital control rooms"	2019	11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019

Oun A., Benabdallah I., Cherif A	Improved industrial modeling and harmonic mitigation of a grid connected steel plant in Libya"	2019	International Journal of Advanced Computer Science and Applications
James S., Cervantes A	Study of industry 4.0 and its impact on lean transformation in aerospace manufacturing"	2019	Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference
Siroky J., Hlavsova P	Optimizing process of check-in and security check at airport terminals"	2018	MATEC Web of Conferences
Fedorko G., Molnar V., Vasil M., Hanzl J	Application of the tecnomatix plant simulation program to modelling the handling of ocean containers using the AGV system"	2018	Nase More
Fedorko G., Molnar V., Honus S., Neradilova H., Kampf R	The application of simulation model of a milk run to identify the occurrence of failures"	2018	International Journal of Simulation Modelling
Hodoň R., Kovalský M., Gregor M., Grznár P	New approaches in production scheduling using dynamic simulation"	2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Babatunde A.A., Abbasoglu S., Senol M	Analysis of the impact of dust tilt angle and orientation on performance of PV Plants	2018	Renewable and Sustainable Energy Reviews
Oktaviandri M., Safiee A.S.B	Modelling Electrical Energy Consumption in Automotive Paint Shop"	2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Pranav Nithin R., Gopikrishnan S., Sumesh A	A case study on Simulation and Design optimization to improve Productivity in cooling tower manufacturing industry"	2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Ferro R., Cordeiro G.A., Ordoñez R.E.C	Dynamic modeling of discrete event simulation"	2018	ACM International Conference Proceeding Series
Sujová E., Střihavková E., Čierna H	An analysis of the assembly line modernization by using simulation software"	2018	Manufacturing Technology
Václav Š., Košťál P., Lecký Š., Michal D., Bako B	Assembly system planning in automotive industry with use of discrete event simulation"	2018	Lecture Notes in Mechanical Engineering

Bamporiki T., Bekker J	Development of a discrete-event stochastic multi-objective metaheuristic simulation optimisation suite for a commercial software package	2018	South African Journal of Industrial Engineering
Kłos S	Knowledge Acquisition Using Computer Simulation of a Manufacturing System for Preventive Maintenance"	2018	Communications in Computer and Information Science
Watanapa A., Wiyaratn W	Improvement of rubber smoked sheet plant using arena layout for increasing productivity"	2018	Lecture Notes in Engineering and Computer Science
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	An approach to buffer allocation in parallel-serial manufacturing systems using the simulation method	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	The impact of buffer allocation in assembly-line manufacturing systems on the effectiveness of production processes"	2018	Lecture Notes in Mechanical Engineering
Behunova A., Behun M., Knapcikova L	Simulation software support of manufacturing processes in engineering industry"	2018	TEM Journal
Kłos S., Stadnicka D	An analysis of the impact of buffer allocation and maintenance on the effectiveness of a manufacturing system using computer simulation"	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing
Osman M.F.S., Hijazi S	Simulation modeling for construction chemical operations"	2018	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Busa M., Kazimirova I., Paska M., Puskas E., Farkas C	Simulation of the material flow to improve the efficiency of fireclay bricks production"	2018	METAL 2018 - 27th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings
Datta U., Dessouky S., Papagiannakis A.T	Thermal Energy Harvesting from Asphalt Roadway Pavement"	2018	Sustainable Civil Infrastructures

Li C., Zhang J., Li B	Performance analysis and optimization of queueing network production systems considering non-conforming products rework and departure"	2018	Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing
Václav S., Lecký S., Senderská K., Mareš A	Simulation as a support tool in assembly systems planning"	2017	MATEC Web of Conferences
Buth L., Broderius N., Herrmann C., Thiede S	Introducing agent-based simulation of manufacturing systems to industrial discrete-event simulation tools"	2017	Proceedings - 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2017
Fedorko G., Honus S., Badiarová S	Analysis of the utilization of machinery in the production process using computer simulation"	2017	MATEC Web of Conferences
Blaga F., Stanășel I., Hule V., Pop A	Balancing the manufacturing lines through modelling and simulation using Tecnomatix Plant Simulation"	2017	MATEC Web of Conferences
Velasquez J.A.S., Isaza M.C.A	Simulating a ready-mix concrete plants network using multimethod approach"	2017	Proceedings - Winter Simulation Conference
Zghair H., Ali A	Simulation analysis of processing complexity and production variety in automated manufacturing system"	2017	Proceedings - Winter Simulation Conference
Clark A.R., Kumar H., Burrowes K	Capturing complexity in pulmonary system modelling"	2017	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine
Pugazhenth R., Saravanan R., Chandrasekaran M., Franklin Issac R., Vivek P	Optimization of wheel axle plant manufacturing environment by simulation"	2017	ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences

Fedorko G., Vasil' M	The use of simtalk program for modelling disconnection of rail vehicles in the mineral raw materials mining"	2017	International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM
Nyemba W.R., Mbohwa C	Modelling Simulation and Optimization of the Materials Flow of a Multi-product Assembling Plant"	2017	Procedia Manufacturing
Klos S., Patalas-Maliszewskal J	The topological impact of discrete manufacturing systems on the effectiveness of production processes"	2017	Advances in Intelligent Systems and Computing
Yakimov I., Kirpichnikov A., Mokshin V., Yakhina Z., Gainullin R	The comparison of structured modeling and simulation modeling of queueing systems"	2017	Communications in Computer and Information Science
Mustafa K., Cheng K	Improving Production Changeovers and the Optimization: A Simulation Based Virtual Process Approach and Its Application Perspectives"	2017	Procedia Manufacturing
Oumer A., At naw S.M., Cheng J.K., Singh L	Improving Energy Efficiency for the Vehicle Assembly Industry: A Discrete Event Simulation Approach"	2016	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
Kulagin V.A., Moskvichev V.V., Makhutov N.A., Markovich D.M., Shokin Y.	Physical and mathematical modeling in the field of high-velocity hydrodynamics in the experimental base of the krasnoyarsk hydroelectric plant"	2016	Herald of the Russian Academy of Sciences
Nallusamy S	Efficiency enhancement in CNC industry using value stream mapping work standardization and line balancing	2016	International Journal of Performability Engineering
Sathish Kumar V.R., Anbuudayasankar S.P., Thennarasu M	Design and development of simulation based model to rank job flow strategies"	2016	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences
Stoldt J., Schlegel A., Putz M	Enhanced integration of energy-related considerations in discrete event simulation for manufacturing applications"	2016	Journal of Simulation

Musil M., Laskovsky V., Fialek P	Analysis of logistic processes using the software tecnomatix plant simulation"	2016	13th International Conference on Industrial Logistics, ICIL 2016 - Conference Proceedings
Neradilova H., Laskovsky V	The usage of tecnomatix plant simulation for simulation of mining rail transport"	2016	International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM
Eujan Z	Simulation of Production Lines Supply within Internal Logistics Systems"	2016	Open Engineering
Kikolski M	Identification of production bottlenecks with the use of Plant Simulation software"	2016	Engineering Management in Production and Services
Elshal M., El-Mounayri H., Promyoo R., Mitchell A	Application of simulation based-approach in allocation and optimization of a mid-size emergency department human resources"	2016	2016 Simulation Innovation Workshop, SIW 2016
Alithawi K., Ali A., Hussain M.I	Modeling and optimization in a new machining production line by using manufacturing system simulation"	2016	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Shavetov S.V., Vedyakov A.A., Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Borisov O.I	Advanced educational tool for remote control study"	2016	IFAC-PapersOnLine
Idris M.R., Nayan A.M	A study on effective production model for higher productivity in manufacturing plant"	2016	Journal of Artificial Intelligence
Iannone R., Miranda S., Riemma S., De Marco I	Combined semi-continuous and discrete simulation model to optimize a decaffeination process based on supercritical CO ₂ "	2015	Chemical Engineering Transactions

Aylak B.L., Alias C., Hendrikse H.C.N., Noche B	Necessary calculations of ultra-light overhead conveyor systems for in-house transportation"	2015	Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems
Haraszko C., Németh I	DES Configurators for rapid virtual prototyping and optimisation of manufacturing systems"	2015	Periodica Polytechnica Mechanical Engineering
Kłos S., Patalas-Maliszewska J	Throughput analysis of automatic production lines based on simulation methods"	2015	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)
Tan L.E.L	Assessment of the New 8-piece Pallet Welding Process"	2015	Procedia Manufacturing
Raska P., Ulrych Z	Comparison of optimisation methods tested on testing functions and discrete event simulation models"	2015	International Journal of Simulation and Process Modelling
ten Kate A.J.B	Industrially Applied PSE for Problem Solving Excellence"	2015	Computer Aided Chemical Engineering
Navarra A., Mucciardi F	Discrete event simulation to quantify upgrades of peirce-smith converting aisles"	2015	Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry - Proceedings of the 37th International Symposium, APCOM 2015
Kliment M., Popovič R., Janek J	Analysis of the production process in the selected company and proposal a possible model optimization through PLM software module tecnomatix Plant Simulation"	2014	Procedia Engineering
Li Y., Zhang S., Bilberg A., Hadar R	Configuration method design for reconfigurable manufacturing system with the aid of plant simulation"	2014	WIT Transactions on Modelling and Simulation

Trebuňa P., Kliment M., Edl M., Petrik M	Creation of simulation model of expansion of production in manufacturing companies"	2014	Procedia Engineering
Hudák J., Horňáková N., Vidová H	Improving of manufacturing systems in industrial enterprises by using dynamic simulation"	2014	METAL 2014 - 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings
Hurst W., Merabti M., Fergus P	Big data analysis techniques for cyber-threat detection in critical infrastructures"	2014	Proceedings - 2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, IEEE WAINA 2014
Kohl J., Spreng S., Hofmann B., Franke J	Minimization of energy needs in the industry of electric drives manufacturing considering process-related temperature curves"	2014	2014 4th International Electric Drives Production Conference, EDPC 2014 - Proceedings
Stoll J., Kemper B., Lanza G	Throughput analysis and simulation-based improvement of baked varnish stacking for automotive electric drives"	2014	2014 4th International Electric Drives Production Conference, EDPC 2014 - Proceedings
Hurst W., Merabti M., Fergus P	Behaviour analysis techniques for supporting critical infrastructure security"	2014	International Journal of Critical Infrastructures
Li J.-W., Hu H.-Q., Wang J., Nguyen Q.M., Shen S.-L., Zhao B.-X	Design and implementation of multi-channel information recognition machine based on RFID technology"	2014	Beijing Gongye Daxue Xuebao/Journal of Beijing University of Technology
Trebuňa P., Kliment M., Filo M	Optimization and elimination of bottlenecks in the production process of a selected company"	2014	Applied Mechanics and Materials

Pandian A	Complex assembly line production simulation modeling considering robots failure and operator cycle times"	2013	Simulation Series
Muresan M., Cormos C.-C., Agachi P.-S	Techno-economical assessment of coal and biomass gasification-based hydrogen production supply chain system"	2013	Chemical Engineering Research and Design
Aasen M., Vatn A	Deliberation on GMOS: A study of how a citizens jury affects the citizens attitudes"	2013	Environmental Values
Tan K.-S., Mohd-Lair N.-A., Nai-Vun S.Y., chau-Leong J.Y	Optimisation of facility layout problem at automotive industry a case study in sabah"	2013	Applied Mechanics and Materials
Reeveerakul N., Chakpitak N	A knowledge framework and decision tool for fdis using multi-Criteria analysis"	2013	International Journal of Product Development
Desa W.L.H.M., Kamaruddin S., Nawawi M.K.M	Modeling of aircraft composite parts using simulation"	2012	Advanced Materials Research
Kim J., Twede D., Closs D.J., Burgess G.J., Harte B.R	Measuring financial performance of reusable packaging using activity based costing and dynamic simulation for an international supply chain"	2012	18th IAPRI World Packaging Conference
Amit N., Suhadak N., Johari N., Kassim I	Using simulation to solve facility layout for food industry at XYZ Company"	2012	SHUSER 2012 - 2012 IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research
Strassburger S., Taylor S.J.	A comparison of the CSPI and CMSD standards"	2012	Spring Simulation Interoperability Workshop 2012, 2012 Spring SIW
Kitchen J.L., Allaby R.G	The limits of mean-field heterozygosity estimates under spatial extension in simulated plant populations"	2012	PLoS ONE
Di Micco R., Montella D.R., Naviglio G., Romano E	Design of experiments in a single stage multi product kanban system"	2012	Frontiers in Artificial Intelligence and Applications

Calder R., Gulati H., Thomas D	Carbon Management in the Chemical Process Arena - a multi- faceted CAPE problem"	2012	Computer Aided Chemical Engineering
Wang N., Li S., Wang J	A data driven modeling and simulation methodology for automotive assembly plant"	2012	Advanced Materials Research
Rovaglio M., Calder R., Richmond P	Bridging the Experience Gap - How do we migrate Skills and Knowledge between the Generations?"	2012	Computer Aided Chemical Engineering
Franzese L.A.G., De Oliveira Mota D., Fioroni M.M., Mourão Y.A.C.L., Da Silva D.J., Santana I.R., Quevedo J.G., Ribeiro F.S., Silva M.N., Lage Gonçalves F.A., Diniz T.A.M.B., Gomes M.B	Maintenance framework to address the interaction of components using simulation"	2011	Proceedings - Winter Simulation Conference
Wang J., Chang Q., Xiao G., Wang N., Li S	Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant"	2011	Computers in Industry
Rahim Khan M., Ghani I.A., Rafique Khan M., Ghaffar A., Tamkeen A	Host plant selection and oviposition behaviour of whitefly Bemisia tabaci (Gennadius) in a mono and simulated polyculture crop habitat"	2011	African Journal of Biotechnology
Brito A.C., De Oliveira C.B., Sá Marques P	A simulation study of a multi-site production plant using arena"	2011	ESM 2011 - 2011 European Simulation and Modelling Conference: Modelling and Simulation 2011
De Haas E., Liu Y., Heragu S., Evans G., Price T	Simulation model of University of Louisville Hospital Emergency Department"	2011	61st Annual IIE Conference and Expo Proceedings
Edis R.S., Kahraman B., Araz O.U., Özfirat M.K	A facility layout problem in a marble factory via simulation"	2011	Mathematical and Computational Applications

Montella D.R., Naviglio G., Santillo L.C	A simulative approach to optimize a cooking center"	2010	Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Automation and Information, ICAI '10
Guimarães A.M.C., Diallo M., Pastore P	Demand forecasting and computer simulation applied to the conservative management companies"	2010	Proceedings - UKSim 4th European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation, EMS2010
Reeveerakul N., Ouzrout Y., Chakpitak N., Bouras A	A supply chain simulation based on SCOR model for the decision on entrepreneurial of plant"	2010	SKIMA 2010 - Proceedings of the 4th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications: "Towards Happiness and Sustainable Development"
Wang J., Xiao G., Chang Q., Fu Y., Li S	Real-time data-driven simulation of general assembly plant with JIT material handling system"	2010	IIE Annual Conference and Expo 2010 Proceedings
Mosqueda M.R.P., Tollner E.W., Boyhan G.E., McClendon R.W	Predicting the economics of X-ray inspection technology in sweet onion packinghouses using simulation modelling"	2010	Biosystems Engineering