



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

ISMAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA JUNIOR

**MODELO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE OPERADORES EM
UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA COM GRANDE VARIEDADE DE SKUS**

Recife

2022

ISMAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA JUNIOR

**MODELO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE OPERADORES EM
UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA COM GRANDE VARIEDADE DE SKUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa operacional.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira.

Recife

2022

O48m	Oliveira Junior, Ismael Rodrigues de. Modelo para avaliação da produtividade de operadores em uma indústria siderúrgica com grande variedade de SKUS / Ismael Rodrigues de Oliveira Junior. 2022. 56 f: figs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, Recife, 2022. Inclui referências. 1. Engenharia de produção. 2. Sistemas de produção. 3. Produtividade. 4. Indústria siderúrgica. I. Ferreira, Rodrigo José Pires (Orientador). II. Título.
	UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG / 2022 - 398

ISMAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA JUNIOR

**MODELO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE OPERADORES EM
UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA COM GRANDE VARIEDADE DE SKUS**

Dissertação de Mestrado Profissional
apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Profissional em Engenharia de Produção,
Centro de Tecnologia e Geociências da
Universidade Federal de Pernambuco como
parte dos requisitos parciais para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia de
Produção.

Aprovada em: 31/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profa. Dra. Eduarda Asfora Frej (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Flávio Trojan (Examinador Externo)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

AGRADECIMENTO

Dedico esse trabalho a minha esposa Mariana, meus filhos Bento e Sofia, aos meus pais Lena e Ismael, e a minha irmã Larissa.

À Deus por me acompanhar nesta jornada, sempre me dando serenidade para discernir entre o certo e errado, e me dando forças para seguir o caminho do bem.

À minha esposa Mariana e meu filho Bento e minha filha Sofia por todo amor, pela paciência e pelo incentivo.

Aos familiares, em especial aos meus pais Lena e Ismael, e a minha irmã Larissa pelo carinho, respeito e amor incondicional transmitidos a mim ao longo de minha vida.

Aos meus avós, que mesmo ausentes nesta etapa de minha vida, contribuíram com extrema importância na realização deste sonho.

Ao professor Dr. Rodrigo José Pires Ferreira pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante a elaboração do trabalho.

RESUMO

As indústrias siderúrgicas enfrentam diversos desafios relacionados a questões de produtividade. Dentre os principais desafios, pode-se destacar o gerenciamento de seus processos com base no desempenho dos seus recursos produtivos que envolve a capacidade produtiva de operadores. Em uma indústria siderúrgica de corte e dobra de vergalhões, tem-se a dificuldade de que produtos possuem diâmetro, formato e quantidade diferentes, caracterizando uma infinidade de SKUs (*stock keeping units*). Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um modelo para avaliação da produtividade de operadores para uma indústria siderúrgica de corte e dobra de vergalhões com grande variedade de SKUs. Para a avaliação da produtividade da mão-de-obra, o conhecimento de especialistas nas operações foi levantado e algumas distribuições de probabilidade foram consideradas. Um estudo de caso em uma indústria siderúrgica que processa vergalhão para construção civil foi desenvolvido. Foi possível evidenciar que o desenvolvimento do modelo de avaliação da produtividade pode alavancar consideravelmente a capacidade produtiva da planta onde o modelo foi aplicado assim como identificar oportunidades de melhoria no processo, através do acompanhamento do desempenho dos operadores. O modelo proposto tem como característica básica sua facilidade de uso e atende uma lacuna do setor, proporcionando relevantes impactos econômicos e sociais na empresa em que foi aplicado. Como o setor siderúrgico, no segmento de corte e dobra, tem uma alta demanda, o modelo de avaliação da produtividade colabora para incrementos de produtividade da organização, impactando em ganhos financeiros com potenciais aumentos de faturamento e lucratividade. Do ponto de vista social, este modelo permite um aumento do valor agregado do operador ao processo que pode contribuir para o aumento da remuneração dos operadores.

Palavras-chave: sistemas de produção; produtividade; indústria siderúrgica.

ABSTRACT

Steel industries face several challenges related to productivity issues. Among the main challenges, we can highlight the management of its processes based on the performance of its productive resources, which involves the productive capacity of operators. In a steel industry that cuts and bends rebar, there is the difficulty that products have different gauge, shape and quantity, characterizing an infinity of SKUs (stock keeping units). This work aims to develop a model for evaluating the productivity of operators for a steel industry that cuts and bends rebar with infinite SKUs. For the evaluation of the labor productivity, the knowledge of specialists in the operations was raised and some probability distributions were considered. A case study in a steel industry that processes rebar for civil construction was developed. It was possible to show that the development of the productivity evaluation model can considerably leverage the productive capacity of the plant where the model was applied as well as identify opportunities for improvement in the process, through the monitoring of the operators' performance. The proposed model has as its basic characteristic its ease of use and meets a gap in the sector providing relevant economic and social impacts on the company in which it was applied. As the steel industry in the cut and bend segment has a high demand, the productivity evaluation model contributes to the organization's productivity increments and impacting on financial gains with potential increases in billing and profitability. From a social point of view, this model allows an increase in the operator's added value to the process, which can contribute to an increase in operators' remuneration.

Keywords: production systems; productivity; steel industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo <i>per capita</i> de aço bruto em 2014	11
Figura 2 – Metodologia da pesquisa.....	14
Figura 3 – Organizações empresariais e gerentes do sistema de produção.	16
Figura 4 – Administração do sistema de produção nas organizações empresariais.	20
Figura 5 – Vantagens principais da função produção no sistema produtivo	21
Figura 6 – Aplicação e funcionamento do indicador OEE nas empresas.....	27
Figura 7 – Cálculo do OEE.....	28
Figura 8 – Revoluções Industriais e a indústria 4.0.....	31
Figura 9 – Estrutura da internet 4.0	32
Figura 10 – Exemplos de SKUs de uma indústria de corte e dobra de vergalhões	39
Figura 11 – Framework do modelo para avaliação da produtividade da mão de obra.....	40
Figura 12 – Exemplo de função densidade de probabilidade triangular para uma determinada operação.....	42
Figura 13 – Faixas de tempo para classificação dos operadores em 5 níveis de produtividade.....	43
Figura 14 – Abastecimento de matéria prima.....	46
Figura 15 – Introdução de vergalhão	46
Figura 16 – Regulagem da matéria prima e programação do SKU	46
Figura 17 – Retirada do material da máquina.....	47
Figura 18 – Inspeção da máquina	47
Figura 19 – Amarração do vergalhão após produzido.....	47
Figura 20 – Máquina planet 20 plus	48
Figura 21 – Histograma da simulação do tempo total de produção	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo aparente de aço bruto.....	11
Tabela 2 – Formas de medição de produtividade	12
Tabela 3 – Atividades e funções desempenhadas por empresas	18
Tabela 4 – Exemplo de identificação de operações programadas para uma sequência de SKUS.....	41
Tabela 5 – Lista de máquinas utilizadas pela empresa no processo de produção	49
Tabela 6 – Atividades executadas pelo operador no uso da máquina Planet 20	49
Tabela 7 – Estimação de parâmetros das atividades executadas pelo operador na Planet 20.....	50
Tabela 8 – Identificação de operações programadas para uma sequência de SKUS	51
Tabela 9 – Tabela de frequência da simulação do tempo total de produção	51

SUMÁRIO

1	INTRODUCAO	10
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	METODOLOGIA	13
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2	BASE CONCEITUAL	16
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	16
2.2	OEE - OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS.....	26
2.3	INDUSTRIA 4.0.....	29
2.4	TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO.....	34
2.5	AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE	36
3	MODELO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE OPERADORES PARA SIDERÚRGICAS COM GRANDE VARIEDADE DE SKUS.....	39
4	ESTUDO DE CASO	45
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	45
4.2	ETAPA 1 – ESTIMAÇÃO DE TEMPOS.....	48
4.3	ETAPA 2 – PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	50
4.4	ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	51
4.5	APLICABILIDADE DO MODELO ANÁLISE DE RESULTADOS	53
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
5.1	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUCAO

A avaliação da produtividade de operadores na indústria siderúrgica de corte e dobra de vergalhões com grande variedade de SKUS se caracteriza com uma função primordial tendo em vista que empresas do segmento possuem modelos de avaliação da produtividade que não são muito efetivos, justamente pelo desafio da variedade de produtos que podem ser fabricados no processo de corte e dobra de vergalhões.

Ao se avaliar a produtividade de operadores em máquinas, se faz necessário estabelecer algum mecanismo capaz de avaliar a produtividade para que a organização possa alcançar de forma satisfatória os objetivos estratégicos no mercado em que ela está inserida. Uma metodologia de acompanhamento da produtividade pode auxiliar de forma significativa a gestão de diversas plantas na direção da maximização da capacidade produtiva.

A siderurgia é uma indústria que desenvolve várias classes de produtos para diversos segmentos de mercado. Uma dessas classes é denominada aços longos, cuja destinação é propriamente o mercado da construção civil e que está cada vez mais em busca de soluções inovadoras para aumentar a produtividade nas obras.

A siderurgia brasileira não difere em relação à indústria global, em se tratando de produtos e segmentos de mercado siderúrgico. O único tipo de produto siderúrgico não fabricado no país é o trilho, que deixou de ser fabricado pela Companhia Siderúrgica Nacional em 1996. Segundo o Instituto Aço Brasil (2021) a construção civil foi o maior consumidor de produtos siderúrgicos no Brasil em 2021, com uma participação de 18,85%; seguida pelo setor automotivo (17,04%), bens de capital (8,99%) e por utilidades comerciais e domésticas (2,98%).

Segundo Viana (2019), o setor siderúrgico no Brasil, a partir do ano de 2013, tem apresentado uma diminuição no número de vínculos empregatícios e, a partir de 2015, vem apresentando porcentagens de capacidades ociosas altas. Esses comportamentos representam uma tendência nesse setor em investimento a curto e médio prazo no aumento da eficiência e produtividade das suas atividades internas, dando-se um menor enfoque no aumento da capacidade produtiva. Tendo em vista esse cenário, tem-se notado a importância de se planejar a produção adequadamente e avaliar a produtividade dos recursos produtivos da empresa. Herlambang e Hidayati (2019) aponta que se a produtividade aumenta dentro de um período de tempo, aponta-se para um bom uso dos recursos produtivos pela gerência e vice-versa.

De acordo com a Tabela 1, pode ser concluído que o Brasil está entre os dez principais países do mundo que mais consome aço; a sua economia depende do consumo e da produção do aço, uma vez que por ser um país subdesenvolvido ainda tem muito a crescer. Com isso, esta oportunidade de crescimento do Brasil evidencia a necessidade de aumentar a produtividade das obras na construção civil, e aumentar a participação no mercado.

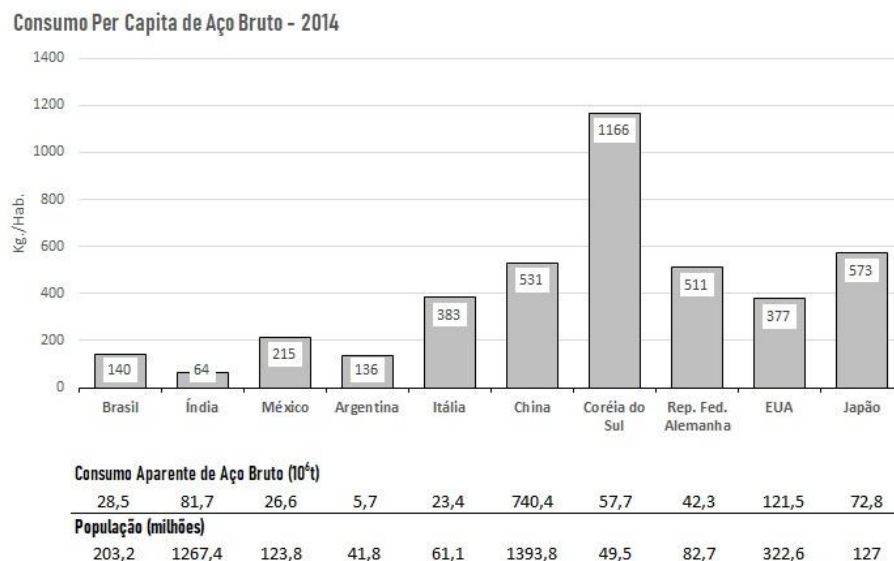
Tabela 1 – Consumo aparente de aço bruto

Unidade: 10 ⁶ ton						
País	2009	2010	2011	2012	2013	2014
China	574	612	668	688	766	740
EUA	69	92	101	108	106	122
Japão	5	67	70	69	71	73
Índia	64	69	73	78	81	82
Coréia do Sul	47	55	59	56	54	58
República Alemanha	29	41	45	41	42	42
Itália	21	27	28	23	23	23
Brasil	21	30	29	30	31	29
México	17	21	23	25	24	27
Argentina	4	5	6	6	6	6

Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil (2015).

Conforme ilustrado na Figura 1, percebe-se que o Brasil ainda tem um baixo consumo, mesmo possuindo um alto número populacional, comparado aos países de primeiro mundo, citados na Tabela 1.

Figura 1 – Consumo *per capita* de aço bruto em 2014



Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil (2015).

A proposição de um modelo para avaliação da produtividade em uma indústria siderúrgica com grande variedade de SKUs é um desafio importante, pois, demanda uma certa complexidade na definição de níveis de desempenho, tendo em vista que o alto nível de customização dos produtos finais, dificulta a padronização de uma avaliação de desempenho. A questão central da pesquisa desta dissertação é como avaliar o desempenho de operadores na produção de produtos de aço cortados e dobrados considerando uma infinidade de SKUs.

A Tabela 2 apresenta alguns indicadores capazes de medir a produtividade de operadores que tem algumas limitações críticas no contexto de uma planta com grande variedade de SKUs.

Tabela 2 – Formas de medição de produtividade

Indicador	Descrição
Atendimento ao kg	Atendimento ao peso que foi projetado pelo Planejamento e Controle da Produção para ser produzido na máquina pelo operador, estimado pela média do histórico da fábrica
Produção por volume	Volume produzido no equipamento pelo operador em quilos (sem avaliar diâmetro e complexidade dos SKUs)
Atendimento a prontidão das 14:00	Cumprimento da programação produzida até às 14:00 do dia anterior por todos os equipamentos que tiveram suas programações realizadas pelo operador
Produtividade operacional	Quantidade de quilos produzidos pelo operador dividido pela quantidade de operadores

Fonte: O Autor (2022).

Em uma situação ideal, a avaliação da produtividade deveria seguir as tendências da indústria 4.0. Segundo Pereira e Simonetto (2018) a proposta da indústria 4.0 incita na redução de custos e aumento na eficiência diante dos processos que abrange, e, as vantagens decorrentes podem ser verificadas pela integração de quatro segmentos, que são avaliados como produtividade, uso de recursos, aumentos nos percentuais de receitas das organizações, maior nível em termos de empregos e investimentos no setor. A indústria 4.0 se baseia na utilização de tecnologias de mapeamento de processos para auxiliar o gestor na percepção do desempenho dos recursos produtivos na indústria, auxiliando na avaliação da produtividade da planta.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Seguem objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é construir um modelo para avaliação da produtividade de operadores para indústrias siderúrgicas com grande variedade de SKUs. Utilizando as atividades que os operadores fazem durante a jornada de trabalho com a máquina parada, será feito um estudo de tempos das atividades.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) Identificar o estado da arte e lacunas sobre as metodologias de avaliação da produtividade;
- b) Estruturar o problema de avaliação da produtividade de operadores para indústrias siderúrgicas com grande variedade de SKUs;
- c) Propor modelo de classificação de operadores em termos de desempenho de produtividade para indústrias siderúrgicas com grande variedade de SKUs;
- d) Analisar os resultados e a aplicabilidade do modelo proposto.

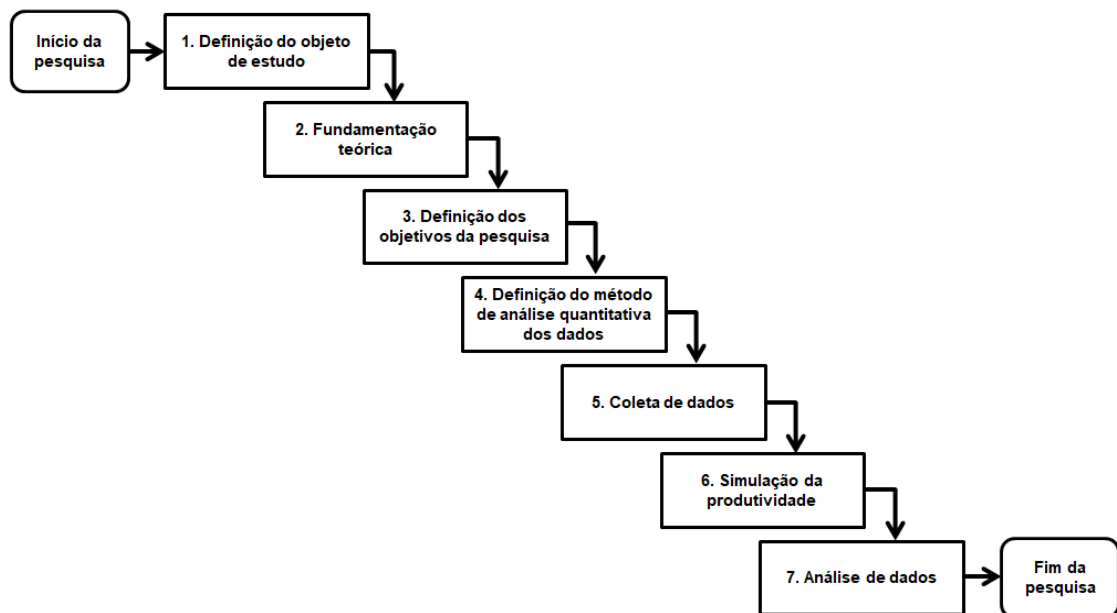
1.2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de um modelo de avaliação de produtividade de operadores em uma indústria siderúrgica com grande variedade de SKUs, uma metodologia de pesquisa foi utilizada conforme Figura 2.

Quanto à definição do objeto de estudo, a pesquisa pretende investigar a produtividade da mão de obra nas operações de produção no contexto de uma indústria siderúrgica com grande variedade de SKUs. Busca-se identificar se o tempo utilizado pela mão de obra nos processos de produção está satisfazendo as expectativas da empresa. O objeto de estudo limitou-se em um estudo de caso de uma indústria localizada na região metropolitana do Recife.

A fundamentação teórica baseou-se em avanços em sistemas produtivos, técnicas de simulação, avaliação da produtividade e revisão da literatura. Estes conceitos são fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Os objetivos da pesquisa foram definidos na seção anterior e direcionam o escopo do trabalho. Foi buscada na pesquisa a construção de um método matemático para análise de dados baseado em conhecimento de especialistas sobre os tempos de típicas operações do chão de fábrica. Por meio de um questionário alguns dados foram coletados. Com base nestes dados um modelo de simulação foi empregado para avaliar a produtividade de um conjunto de operações. O processo de análise de dados se baseou em avaliar a aplicabilidade do modelo proposto e interpretar os resultados.

Figura 2 – Metodologia da pesquisa



Fonte: O Autor (2022).

Quanto à finalidade dessa pesquisa, segundo Gil (2002), pode ser classificada como aplicada, pois seu desenvolvimento é voltado para a construção de um modelo de avaliação, utilizando dados e contexto reais de uma empresa do ramo siderúrgico.

Quanto ao objetivo, essa pesquisa pode ser classificada como descritiva, pois, tem como finalidade descrever características de uma determinada população ou fenômenos e evidenciar a relação entre variáveis do problema. Esse trabalho se propõe a observar um cenário real e desenvolver um modelo de avaliação de desempenho, relacionando variáveis como tempo de produção de um SKU com a produtividade do operador na execução daquela atividade.

A natureza dessa pesquisa apresenta características tanto quantitativas quanto qualitativas. Das características quantitativas presentes nessa pesquisa estão na construção do modelo de avaliação utilizando técnicas de simulação para tal. Enquanto as características qualitativas se apresentam através da obtenção de dados para a classificação do desempenho da atividade, ao qual foi utilizado informações de um especialista.

Quanto aos dados, essa pesquisa pode ser classificada como modelagem, pois, para a construção do modelo de avaliação, foram utilizadas técnicas de simulação aplicadas em planilhas para obtenção de tempos de operação e posterior definição de intervalos de desempenho. Essa pesquisa pode ser classificada, de forma mais secundária, como bibliográfica, pois, para fins de conceitualização do tema e levantamento do estado da arte, foi necessária realizar uma revisão de literatura para compor o trabalho.

Em relação às técnicas de pesquisa utilizadas nesse trabalho, foi feito um levantamento do estado sobre o tema e de modelagem e foram utilizadas técnicas de simulação para obtenção de dados para o modelo de avaliação com base em um estudo de caso.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi desenvolvida em 5 capítulos. O primeiro capítulo contempla a contextualização, justificativa da dissertação, os objetivos do trabalho geral e específicos, a metodologia utilizada e a estruturação da dissertação. O segundo capítulo envolve a base conceitual com a revisão bibliográfica dos conceitos básicos relacionados ao objeto de pesquisa desta dissertação. O terceiro capítulo apresenta a proposta do modelo para avaliação da produtividade de mão de obra de uma siderúrgica com grande variedade de *SKUs*. No quarto capítulo, o estudo de caso é apresentado, com a caracterização da empresa, dos equipamentos e processos, das formas atuais de medição de produtividade operacional, da medição da produtividade operacional proposta, aplicação e validação do modelo, análises de resultados e discussões. No quinto capítulo, conclusões, sugestões para trabalhos futuros e limitações da pesquisa são expostas.

2 BASE CONCEITUAL

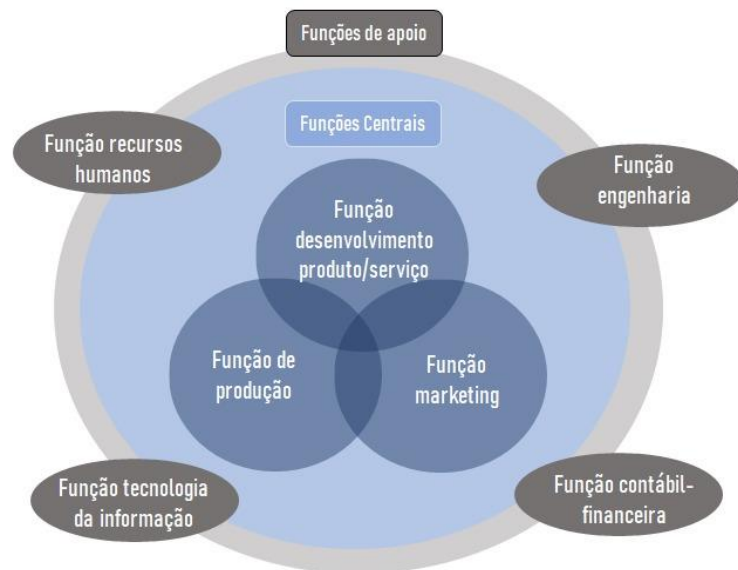
Esta seção trata da revisão bibliográfica dos conceitos básicos relacionados ao objeto de pesquisa desta dissertação que envolve os temas: sistemas de produção, sistema Toyota, produção enxuta, WCM, OEE, Indústria 4.0, técnicas de simulação e avaliação da produtividade.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Tem-se o entendimento, segundo Jesus *et al.* (2016), que a constante concorrência estabelecida entre os mercados, associado ao grande desenvolvimento em termos de tecnologia, vem fazendo com que as organizações empresariais destaquem com maior prioridade os produtos que concebe, assim como seus sistemas de produção na finalidade de propiciar aos consumidores produtos dotados de qualidade.

Dias (2015), seguindo essa premissa, avalia que dentro das empresas, o papel desempenhado pela produção é considerado como fundamental para as empresas, uma vez que gera os bens e serviços que incidem como o motivo pelo qual as organizações estão presentes no mercado. Todavia, a produção não é totalmente o aspecto de maior importância para o funcionamento de uma organização, sendo cominada a três papéis centrais e comuns aos empreendimentos e seus sistemas de produção. A Figura 3 elucida sobre essas funções.

Figura 3 – Organizações empresariais e gerentes do sistema de produção.



Fonte: Adaptado de Dias (2015).

De acordo com a ilustração, é percebido que nas empresas, o sistema de produção tramita por funções que são ligadas ao marketing e desenvolvimento de produtos e serviços, o que se conecta com todo o processo em que as empresas abrangem visando o desenvolvimento (DIAS, 2015).

Slack, Chambers e Jhonston (2009) descrevem que nas empresas a função de produção é avaliada como fundamental aos processos executados, uma vez que bens e serviços são de grande importância aos empreendimentos. Sobre as demais atribuições, os autores avaliam que a função marketing tem como papel a comunicação ao mercado sobre os produtos e serviços produzidos pelas empresas, visando realizar pedidos efetuados pelos consumidores.

Corrêa, Giansesi e Caon (2010) destacam que a tarefa sobre desenvolvimento de produtos e/ou serviços diz respeito à concepção ou transformação de novos artigos na finalidade de gerar pedidos por parte dos consumidores em momentos futuros. Por fim, a função produção, no entendimento de Slack, Chambers e Jhonston (2009), tem a responsabilidade de atender às demandas dos consumidores a partir da entrega correta de produtos e serviços.

Jesus *et al.* (2016) analisam que o sistema de produção nas organizações empresariais pontua a respeito das ações voltadas à gestão de produção, atentando-se quanto aos mecanismos de planejamento, organização, direção e controle das atividades produtivas, de maneira que os objetivos traçados nos programas de desenvolvimento sejam conciliados aos recursos e métodos de produção.

Negrão (2016) destaca que as atividades executadas na produção das empresas são apresentadas como pilares de uma estratégia econômica, sendo incumbidas pela mudança de recursos, que sejam esses de base capital, humano ou material, voltados a bens e serviços dotados de valor reunido.

Slack, Chambers e Jhonston (2009), conforme Tabela 3, destacam as ações desempenhadas pelas funções do sistema de produção nas empresas, em acordo a determinadas operações e em empreendimentos distintos.

Negrão (2016) cita que a administração de produção, nesse contexto, consiste na ação em que os recursos nas empresas passam por um processo determinado, com combinação e transformação de maneira controlada, operando na finalidade de acrescentar no valor das empresas, atuando em conjunto com as metas definidas. Assim sendo, por meio de uma demanda específica, os trabalhos nos empreendimentos precisam passar por programação e controle, visando produzir de acordo com o que foi pedido.

Tabela 3 – Atividades e funções desempenhadas por empresas

Atividades funcionais centrais	Provedor de serviço de internet	Cadeia de fast-food	Caridade	Fabricante de móveis
Marketing e vendas	Promover serviços a usuários e obter assinaturas. Vender espaço de propaganda.	Fazer propaganda em televisão. Inventar material promocional.	Desenvolver contratos de fundos. Enviar mala direta com pedidos de doação.	Fazer propaganda em revistas. Determinar a política de preços. Vender para lojas.
Desenvolvimento de produto ou serviço	Criar novos serviços e comissionar novo conteúdo de informação.	Inventar hamburgueres, pizza e etc. Projetar a decoração do restaurante.	Desenvolver novas campanhas de apelo. Projetar novos programas de assistência.	Projetar novos móveis. Coordenar com cores da moda.
Produção	Manter equipamentos, programas e informação. Implantar novos links e serviços.	Fazer hamburgueres, pizzas e etc. Servir aos clientes. Fazer a limpeza. Manter o equipamento.	Prover serviços para os beneficiários da caridade.	Fazer peças. Montar móveis.

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Jhonston (2009).

Corrêa e Corrêa (2012) discorrem que o sistema de produção é pontuado como uma ação direcionada à gestão de recursos que se encontra em condições deficitárias, como tecnológicos e humanos, por exemplo, abrangendo também a influência que exerce e os processos que integra, com a entrega de produtos e serviços que sejam capazes de atender às expectativas dos clientes no que se referem às suas necessidades, custos, tempo e qualidade dos mesmos.

De mesma forma, Corrêa, Giansesi e Caon (2010) entendem que as ações relativas à administração dos sistemas de produção podem cooperar para que uma empresa obtenha sucesso no mercado na circunstância de seus produtos e serviços serem empregados de modo eficiente, cumprindo a meta de proporcionar maior satisfação ao público de clientes.

Cruz *et al.* (2016) evidenciam que a administração dentro do sistema de produção analisa sobre o método com o qual as empresas desenvolvem seus bens e/ou serviços, com a percepção de que todo empreendimento possui um serviço ou produto a ser disponibilizado no mercado, e assim, é verificado um segmento da empresa que se compromete pelo sistema de produção, e que designa-se como função da produção.

No estudo de Detregiachi Filho, Martins e Herrera (2017), o vocábulo função diz respeito a uma reunião de ações orientadas à concepção de produtos ou prestação de serviços; e esse tipo de operação é reunido por meio de setores nas organizações empresariais, onde se observa a presença de três funções notórias para que uma empresa alcance um desempenho adequado no mercado.

Para as funções produção, marketing e finanças, Dias (2015) avalia que a maior parte das empresas já possui esses postos em seus setores, uma vez que necessitam comercializar os produtos/serviços que concebem, atendendo aos clientes atuais e criando caminhos para uma fidelização futura.

A produção demanda o uso de recursos de transformação e realiza o processamento de insumos, e neste entendimento, credita-se a visão de que as saídas ocorridas dentro dos sistemas produtivos compreendem em uma combinação de serviços e elementos físicos que demonstram a presença de um conjugado de valores em prol dos clientes, visando despertar no mesmo maior satisfação conforme a expectativa criada (NEGRÃO, 2016).

Nesse sentido, Corrêa e Corrêa (2012) percebem que para que um sistema de produção seja capaz de alterar os insumos para produtos, é de grande importância o estabelecimento de prazos, programas e ações que são embasadas nos planos do sistema de produção, fazendo com que, portanto, os objetivos traçados tornem-se realidade.

Pereira *et al.* (2015) destacam que os insumos são verificados como recursos que passarão por mudanças para produtos, como matérias-primas, e, além disso, os recursos contribuem para que haja um funcionamento pertinente do sistema. Seguindo essa abordagem, o processo de transformação, sob o enfoque da manufatura, modifica a condição das matérias-primas, alterando a constituição e formato dos recursos.

Slack, Chambers e Jhonston (2009) pontuam que no que se refere aos serviços não é visualizada uma mudança, visto que a tecnologia usada com maior constância se fundamenta em conhecimento do que em equipamentos. Com base na Figura 4, os autores retratam sobre os fatores que compõem o sistema de produção nas empresas.

Promovendo sequência ao contexto, analisa-se na administração do processo de produção nas empresas, o sistema de controle apresenta o propósito de garantir que os programas sejam executados, assim como os modelos atendidos e os recursos empregados de maneira efetiva, atendendo aos padrões de qualidade estabelecidos (SLACK; CHAMBERS; JHONSTON, 2009).

Rewers, Trojanowska e Chabowski (2016) mencionam que o sistema de produção é influenciado pelo contexto externo às organizações e interno, o que significa uma ligação com as conjunturas econômicas, de tecnologia e os setores de marketing e recursos humanos, a exemplo, o que de certa forma pode vir a comprometer o desempenho da empresa.

com o anterior, o que deixa o processo de produção dotado de maior flexibilidade e cumprindo o objetivo de atender a distintas solicitações de consumidores e mudanças nas demandas, com o emprego de instrumentos de menor especialização e que comumente encontram-se nos setores do trabalho, com serviços executados por profissionais que trabalham em distintas operações nas organizações empresariais.

Por fim, Pereira *et al.* (2015) mostram que o sistema de produção que se enquadra na categoria sob encomenda é apresentado como um processo que se orienta à atenção das necessidades particulares dos clientes, dispondo de procuras menores e por vezes, pedidos efetuados por unidades. A finalização de cada produto desenvolvido é negociada com o cliente e, após findar o sistema de produção, tem-se um novo projeto como meta. O custo de produção do sistema sob encomenda é considerado alto e dotado de flexibilidade em razão de atender aos pedidos específicos de cada cliente.

Conforme exposto, os processos de produção, dentre suas atribuições, possuem diversos objetivos, e Dias (2015), pela demonstração da Figura 5, descreve as características entendidas como mais notórias na função de produção nas empresas.

Figura 5 – Vantagens principais da função produção no sistema produtivo

Projeto	Projeto da produção de maneira geral
	Projeto de bens e serviços
	Projeto dos processos produtivos
	Estudo de tempos
	Projeto das tecnologias de automação
	Projeto da rede e da localização das operações produtivas
	E projeto do arranjo físico, ou seja, do layout
Planejamento e Controle	Planejamento da capacidade produtiva
	Previsão e planejamento da demanda
	Planejamento de produção
	Planejamento das necessidades de materias
	Planejamento e controle de estoque
	Planejamento da cadeia de suprimentos
	Planejamento de projetos
Controle e Melhoria	Controle da produção
	Qualidade
	Prevenção de falhas
	Melhorias da produção

Fonte: Adaptado de Dias (2015).

Segundo descrito na Figura 5, é possível avaliar que dentro do sistema de produção, é pertinente destacar sobre a presença das etapas de planejamento e controle da produção, que

abrange uma reunião de decisões que apresentam o objetivo de delinear o que deve ser produzido, quando deve ocorrer essa produção e a quantidade a ser feita, avaliando, igualmente, fatores como as compras efetuadas, entrega, o público-alvo, localização e local determinado para a produção (DIAS, 2015).

Corrêa, Giansesi e Caon (2010) entendem que essas decisões precisam ser consideradas com período antecipado, e geralmente são fundamentadas em modelos de previsões, que têm o intento de obter um programa de produção orientado para linhas de produtos, com o uso de recursos de produção de modo eficiente.

Para Mileski Junior (2013), as operações relacionadas ao planejamento e controle são capazes de equilibrar os sistemas, métodos e decisões que integram fatores distintos da oferta e demanda. Logo, associar demanda e provisões farão com que os processos de produção sejam mais eficientes, produzindo produtos em acordo ao que os clientes almejam.

O planejamento é conceituado como uma descrição formalizada onde se tem o propósito de inserir o plano em um período futuro, todavia, dentro de um contexto prático, é percebido oscilações nesses planos e o controle insere-se como uma ferramenta que opera em cima dessas variações, intervindo na área de planejamento no propósito de retornar o mesmo às metas e ações estabelecidas (TUBINO, 2009).

O que se entende, de acordo com Detregiachi Filho, Martins e Herrera (2017), é que o controle no sistema de produção denota uma segurança de que o processo de produção irá operar em acordo aos prazos e quantidades adequadas, e, assim, passa a ser importante a inclusão de sistemas de informações que descrevam sobre a realidade dos empreendimentos com o que se tem de material em cada centro, as condições em que se encontram na produção, a organização da produção, volume de produtos que devem ser produzidos e a situação de uso dos equipamentos.

Desse modo, Corrêa e Corrêa (2012), evidenciam que o planejamento e controle da produção exercem funções relacionadas ao gerenciamento de diversos setores inerentes ao sistema produtivo, na finalidade de alcançar os objetivos que foram traçados nos planos empresariais.

Peinado e Graeml (2007) examinam que as ações de planejamento e controle da produção são destacadas conforme três níveis hierárquicos, que incidem em estratégico, tático e operacional. O primeiro faz menção à delimitação das estratégias e planos a serem feitos em longo prazo pelas organizações empresariais, com o desenvolvimento de um plano de produção.

Ainda no conceito de Peinado e Graeml (2007), no segundo nível do planejamento e controle da produção, denominado como tático, tem-se a determinação das propostas com médio prazo para a produção, com a concepção de um plano base para a produção. O terceiro nível atua de forma a criar estratégias de menor prazo para o processo de produção, sendo elaborado e introduzido um plano para acompanhamento dos programas.

Jesus *et al.* (2016) conjecturam que o planejamento e controle da produção ordenam as propostas elaboradas para a produção, assim como atua na administração dos estoques, gerência os documentos de liberação para compras, trabalha com procedimentos para confecção, organização, montagem, com controle e acompanhamento da produção, e posterior lançamento de uma avaliação de desempenho.

Além disso, quando criado para período de longo prazo, o planejamento e controle da produção destaca mais a parte de plano do que do controle, uma vez que nesse momento não se verifica ações que devam ser efetivamente controladas. O médio prazo apresenta maior detalhamento e realizar um novo planejamento é cogitado caso seja examinado como importante. O curto prazo é caracterizado pela definição de diversos recursos que poderão ser utilizados, sendo mais complexo, nesses casos, de alterar em maior dimensão os recursos (TUBINO, 2009).

No que se refere ao planejamento mestre de produção Slack, Chambers e Jhonston (2009) observam que nesse, o papel incide em dividir os planos definidos como estratégicos de longo prazo para programas exclusivos de produtos finalizados para o período de médio prazo, com a intenção de orientar as fases de realização e planos de atividade de operação das organizações, como a montagem, construção e compras.

Segundo Corrêa, Giansi e Caon (2010), o planejamento mestre possui como resultado a apresentação do plano mestre de produção, que formaliza o processo de tomada de decisões que se conectam com as necessidades em termos de produtos finalizados para cada momento analisado. Assim, denomina-se como plano mestre de produção o registro que engloba os dados relativos aos componentes que deverão passar por processo de produção e o número produzido no decorrer de um prazo específico.

Para os autores, o plano mestre de produção coordena a demanda de mercado por meio dos recursos internos das organizações empresariais, no intuito de delinear tarifas apropriadas de produção e de produtos finalizados, sobretudo no que se refere aos produtos com demanda independente, com previsão de demanda futura.

Igualmente, Peinado e Graeml (2007) destacam que o plano mestre de produção é usado como meio para se analisar sobre as necessidades urgentes da capacidade de produção,

estipulando as compras vistas como necessárias, gerando as preferências verificadas entre os produtos que se encontram na programação.

Ainda em Peinado e Graeml (2007), atentando-se ao que consta no plano mestre de produção, e em acordo aos documentos e registros de controle dos níveis de estocagem, o setor de programação da produção é incumbido de determinar a quantidade e o momento certo para que a compra seja efetuada, produzida e montada considerando cada elemento usado para desenvolver os produtos concluídos.

Corrêa, Giansesi e Caon (2010) citam que na programação de produção a finalidade versa em assegurar que os produtos possuam a qualidade demonstrada, calcular que equipamentos e pessoas trabalhem em acordo aos níveis almejados de produção, diminuindo os índices de estocagem assim como os custos com operações, garantindo uma melhoria na qualidade de atendimento ao público de consumidores. Como implicação do plano de produção, as ordens para compra são emitidas, assim como para produzir, montar e finalizar os produtos demonstrados no plano mestre de produção.

Tubino (2009) avalia que quando adequadamente administrado, o plano mestre de produção coopera para que haja uma otimização dos procedimentos para que as datas de entrega sejam atendidas e em acordo às quantidades solicitadas pelos clientes, o que otimiza o setor de gestão de estoques, colabora para o gerenciamento da capacidade de produção e contribui para a tomada de decisões nas empresas.

Paralelamente, Corrêa e Corrêa (2012) discorrem que dentro dos sistemas de produção tem-se o planejamento das necessidades de materiais, que se fundamenta na decisão de produção de produtos já finalizados para estabelecer a quantidade e o momento para se realizar a produção e compra de diversos itens ainda não acabados, assim como demais componentes e matérias primas, considerando as decisões em termos de capacidade.

De acordo com os autores, o planejamento das necessidades de materiais abrange também os planos que incluem os demais recursos da manufatura, como equipamentos, mão de obra, dentre outros. Logo, acredita-se que o planejamento das necessidades de materiais incide em um método que opera no objetivo de alterar a previsão de demanda de um elemento ligado à demanda independente para um plano de necessidades dos itens que compõem os elementos da produção.

De mesmo modo, Slack, Chambers e Jhonston (2009) observam que o planejamento das necessidades de materiais compreende em um procedimento que trabalha na programação da produção dos itens de demanda dependente, uma vez que estabelece a quantidade que deve ser formada para cada componente e a data em que devem estar disponíveis.

Detregiachi Filho, Martins e Herrera (2017) salientam que a demanda dependente é calculada por meio de um programa base, com controle efetuado por planejador; e a demanda independente sujeita-se ao mercado, sem cálculo, com a necessidade de ser prevista para que haja seu gerenciamento. A demanda independente obedece somente às forças de mercado, enquanto a demanda dependente associa-se à demanda de outro componente.

Mileski Junior (2013) acrescenta que o planejamento das necessidades de materiais denota a presença de determinados documentos de informações para que o programa consiga analisar e atualizar, com cálculos que se embasam nos pedidos que foram contratados e futuros presumidos, e, as demais operações calculadas são formadas ou dependem dessas demandas.

Corrêa, Ganesi e Caon (2010) avaliam que os resultados propiciados pelo planejamento das necessidades de materiais consistem em sistema de controle de estocagem de elementos, planos de produção em curto prazo para os itens e elaboração de planos em prol da atenção às necessidades de capacidade de modo mais minucioso.

E, além disso, o planejamento das necessidades de materiais tem como insumos importantes o plano mestre de produção, a listagem de materiais e documentos para controle de estoque, onde o primeiro destaca quais os produtos devem ser fabricados, a data e quantidade dos mesmos. A lista de materiais delinea acerca de todos os elementos inerentes aos produtos, e os documentos voltados ao controle de estoques avaliam sobre o número de cada componente diante da lista de materiais que se encontra no estoque, de maneira que, quando determinados os números em relação a cada produto, tenha-se conhecimento sobre a quantidade de itens necessários, o que torna possível a compra, fabricação e montagem dos artefatos (CORRÊA; CORRÊA, 2012).

Diante do exposto, Tubino (2009) avalia que dentro dos sistemas de produção, o planejamento das necessidades de materiais apresenta inúmeros benefícios, como sua atuação como uma ferramenta de planejamento que colabora na função de compras, processos de contratações e demissões, avaliação sobre as necessidades de equipamentos e demais produtos de produção e de capital de giro.

Para Slack, Chambers e Jhonston (2009), o planejamento das necessidades de materiais também opera na simulação, onde os diversos ambientes relacionados à demanda têm a possibilidade de serem estudados para avaliar seus resultados, contribuindo na tomada de decisões. Os custos também são beneficiados pelo planejamento das necessidades de materiais, podendo ser devidamente calculados, e, por fim, diminui a influência de sistemas considerados como informais, que se tornam inexistentes.

Seguindo os fundamentos apresentados para a compreensão dos sistemas de produção nas organizações empresariais, insere-se como relevante ao conteúdo expor teores a respeito do Sistema de Produção Toyota e Produção enxuta, visando embasar o tema proposto nesse estudo.

2.2 OEE - *Overall Equipment Effectiveness*

Souza e Cartaxo (2016) destacam em linhas iniciais que a manutenção de sistemas de produção total não se pauta em apenas conservar o funcionamento dos instrumentos, mas, sobretudo, avaliar os níveis de desempenho de cada equipamento utilizado na produção das empresas, examinando acerca da possibilidade de se aumentar a produção nas mesmas, empregando políticas voltadas ao gerenciamento, melhoria e eliminação de falhas e desperdícios de máquinas.

E, com base nessa finalidade e atendendo aos métodos de otimização de capacidade que o conceito do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), traduzido ao português como Eficácia Global dos Equipamentos, foi iniciado, sendo delimitado e disseminado primeiramente por Nakajima, segundo explanam Burin, Silva e Moraes (2018).

Para Gomes e Corrêa (2018), o OEE em sua linha conceitual apresenta-se com uma função primordial no alcance da melhoria em termos de eficácia de equipamentos, tendo em vista que aborda as verificações que não apenas produzem resultados cominados à eficiência de ações, como igualmente colabora para a concretização de exames mais apurados em se tratando das perdas por meio de fragmentação de atividades.

Logo, Lima (2014) cita que o OEE compreende em um indicador que visa examinar o rendimento dos instrumentos empregados para a fabricação de produtos nas organizações empresariais, com vista a se obter um maior equilíbrio entre as ações orientadas à produção, desempenho e qualidade, conectando-se às estratégias de manutenção.

De mesma forma, Souza e Cartaxo (2016) discorrem que a aplicação do OEE nas empresas demanda o desenvolvimento de todas as variáveis que abranjam a qualidade, produção, custos, segurança, satisfação das expectativas dos clientes, não atuando apenas como método que compara os equipamentos nas empresas, e sim para avaliar as partes mais vulneráveis às falhas de cada equipamento. Assim, o que se entende é que o OEE é aplicado como um instrumento que examina e mede instrumentos e não trabalha na comparação de segmentos diversos das organizações empresariais.

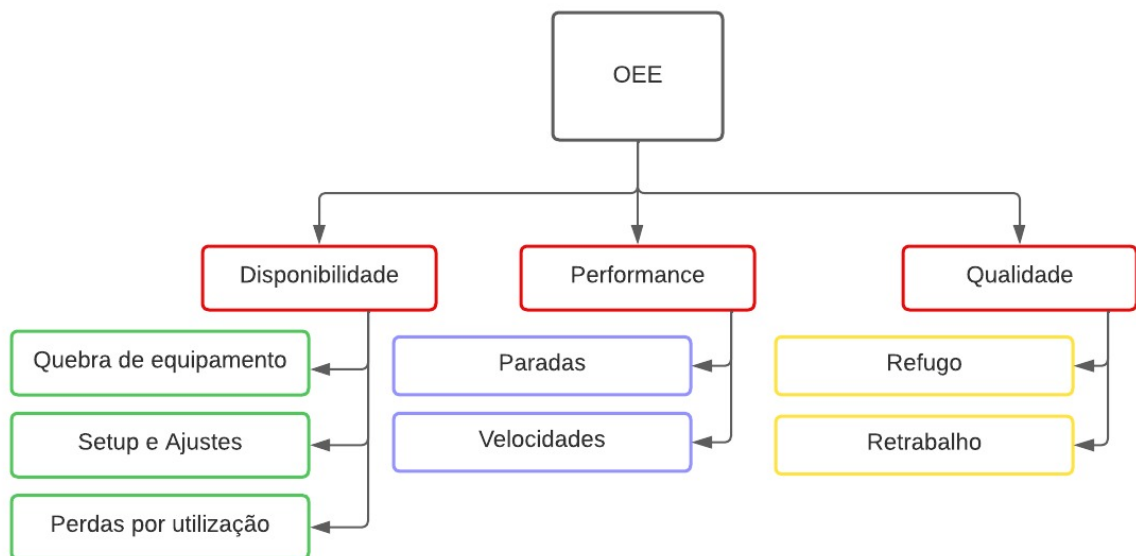
Dentro dos teores sobre a OEE é pertinente destacar, de acordo com Frade *et al.* (2016), que as melhorias apontadas pelo referido indicador não demanda o emprego de investimentos numerosos, mas atua no sentido de promover um maior controle dos indicadores de produção nas fábricas, sendo aplicada no sentido de gerar um aumento nos índices de lucratividade dos empreendimentos.

Sousa e Correr (2019) conjecturam que o OEE, dentre sua aplicação, envolve a identificação das perdas entendidas como principais em se tratando dos equipamentos, sendo de grande importância que haja a identificação correta de cada perda, visto que por meio dessas é que serão efetuadas análises e compreensão correta a despeito do problema real enfrentado, com exames sobre as razões que incitam os problemas, além da menor capacidade de produção das máquinas.

E, pela aplicação do OEE, Souza e Cartaxo (2016) acreditam que se tem uma melhoria dos processos de produção, com diminuição nos níveis de desperdício, alcance de retornos financeiros e elevação dos percentuais de produção e qualidade de produtos.

Souza e Cartaxo (2016), pela Figura 6, destacam sobre a aplicação e sistema de funcionamento do indicador OEE nas organizações empresariais.

Figura 6 – Aplicação e funcionamento do indicador OEE nas empresas



Fonte: Adaptado de Souza e Cartaxo (2016).

Frade *et al.* (2016) consideram, pela ilustração, que a aplicação do OEE nas empresas evidencia a avaliação da capacidade dos instrumentos em realizar a produção de itens que

sejam capazes de atender aos padrões de qualidade com atenção a um período determinando e sem que haja interrupções.

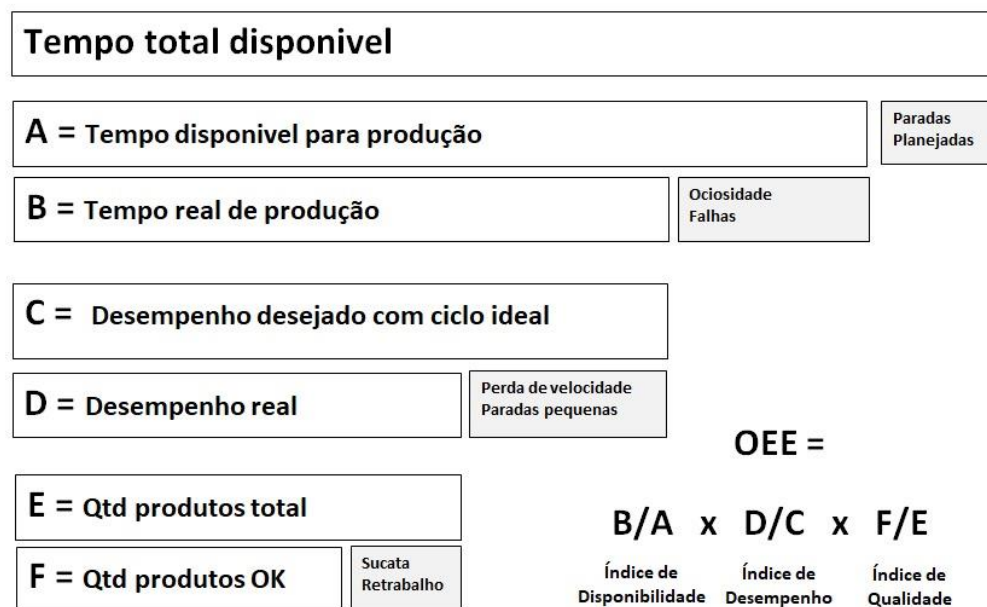
Paralelamente, Lima (2014) propõe que o exame a despeito da eficácia dos sistemas de produção nas empresas é discorrido como um assunto importante no segmento industrial, onde, por meio do cálculo apresentado, é possível avaliar a despeito da eficácia em termos de produção de recursos físicos, com conhecimento sobre a realidade e eficiência nas empresas, operando na meta de ordenar planos de ações e respostas para as razões principais em casos de ineficácia na produção.

Igualmente, o OEE analisa a disponibilidade, desempenho e percentual de qualidade de cada equipamento utilizado, propiciando a inclusão de um método que atua na avaliação de perdas e aferição de resultados diante de ações adotadas (DORNELLES; SELLITTO, 2015).

Burin, Silva e Moraes (2018) acrescentam que para a aplicação do OEE é necessário que se realize um cálculo baseado em uma equação onde se considera os fatores como disponibilidade, performance e qualidade, sendo relativos a indicadores que foram isoladamente calculados e que expressam o funcionamento de cada função diante do processo de produção nas empresas.

A equação no OEE pauta-se, segundo, Lima (2014), pela demonstração da ilustração da Figura 7.

Figura 7 – Cálculo do OEE



Fonte: Adaptado de Lima (2014).

O OEE compreende, conforme Sousa e Correr (2019), em um resultado de ações de multiplicação em três fundamentos das empresas, com uma função importante para a otimização e eficiência de equipamentos, pela eliminação de perdas e estímulo à manutenção independente dos operadores dos processos.

Logo, Gomes e Corrêa (2018) explicam que a aplicação do indicador OEE fundamenta-se em disponibilidade, considerando o tempo em que uma máquina se encontra disponível ao trabalho quando comparada ao tempo planejado para a realização do trabalho. Também se destaca pelo desempenho, avaliando o quanto o trabalho é executado com base no período entendido como ideal para a confecção de um item. E, por fim, analisa-se sobre a qualidade, destacando a totalidade em número de peças de qualidade que foram produzidas nas empresas, sendo cotejado com o número entendido como ideal para a produção.

Com a compreensão de que as informações para que se tenha um cálculo correto acerca da eficácia de recursos nem sempre se encontra disponível nos processos da corporação, é entendido como importante a reunião e exame de informações relativas à produção das empresas (FRADE *et al.*, 2016).

Dornelles e Sellitto (2015) acreditam que a aplicação de um sistema de avaliação e medição correta, associada à inclusão de um sistema de gestão de elementos-chave em uma empresa, consegue cooperar para o aumento da produção em diversos segmentos das organizações, e a OEE incide como um primordial instrumento.

Burin, Silva e Moraes (2018) demonstram que a aferição da eficácia integral dos instrumentos nas empresas pode ser aplicada sob diversos aspectos e objetivos, e o indicador OEE colabora por meio das informações de setores em que deve ser priorizado o desenvolvimento de melhorias nas linhas de produção das empresas.

Souza e Cartaxo (2016) completam que as análises efetuadas por meio da aplicação do OEE permitem a recomendação do recurso que possui menor eficácia de produção, proporcionando a realização de procedimentos de melhorias e emprego de esforços nos recursos identificados com falhas.

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Inicialmente, pode-se compreender, segundo o entendimento de Cavalcante e Almeida (2018), que as adequações realizadas pelas empresas como meio de se evidenciar no mercado, conforme exposto, encontram-se relacionadas com o ambiente globalizado, em que as

empresas praticam ações na finalidade de se obter maior vantagem competitiva, diferenciando-se das demais organizações.

E, Liao *et al.* (2018) conjecturam que dentre as atividades desenvolvidas pelas empresas no objetivo de se destacar e expandir no mercado, é observado sobre a presença do processo que se designa como indústria 4.0, que vem sendo pontuado como a quarta revolução industrial.

Para Becker *et al.* (2018), a indústria 4.0 apresenta-se como um novo modelo de produção embasado pelas ações realizadas por máquinas, equipamentos, recursos e processos que estão conectados pela internet através da inclusão de sistemas avaliados como cyber-físicos, que se associam e possuem a competência para trabalhar, tomar decisões e empregar correções de maneira praticamente autônoma.

Tai *et al.* (2018) destacam que a indústria 4.0 difere-se das três primeiras revoluções industriais em face de seu grande potencial ante à transformação ocorrida nos mecanismos digitais, que têm o objetivo de fazer com que os recursos e processos empregados sejam mais modernos em todos os setores das empresas. Logo, o que se entende é que a indústria 4.0 é averiguada como a utilização pelas organizações empresariais de recursos que tenham o gerenciamento efetuado a partir da inclusão de inteligência tecnológica.

Conforme Pereira e Simonetto (2018), a indústria 4.0 abrange a presença de um tipo de produto oriundo da multiplicidade de tecnologias que são introduzidas no ambiente da produção, o que, atualmente, é verificado como uma grande tendência por parte das organizações empresariais.

Igualmente, é analisado que a indústria 4.0 caracteriza-se pela inclusão de tecnologia de ponta nas empresas, o que pode ser visto nas informações presentes no âmbito de produção empresarial, promovendo, pelos mecanismos que utiliza, vantagens significativas no que se refere à produtividade e flexibilidade, transformando assim a base de trabalho industrial (FIRJAN; SENAI; FINEP, 2019).

Desse modo, Santos *et al.* (2018) esclarecem que a indústria 4.0, dentro dos fundamentos que abrange, possui impactos que alcançam todo o contexto das empresas, incluindo segmentos políticos, sociais e econômicos, o que reforça o destaque da indústria 4.0 como a quarta revolução industrial.

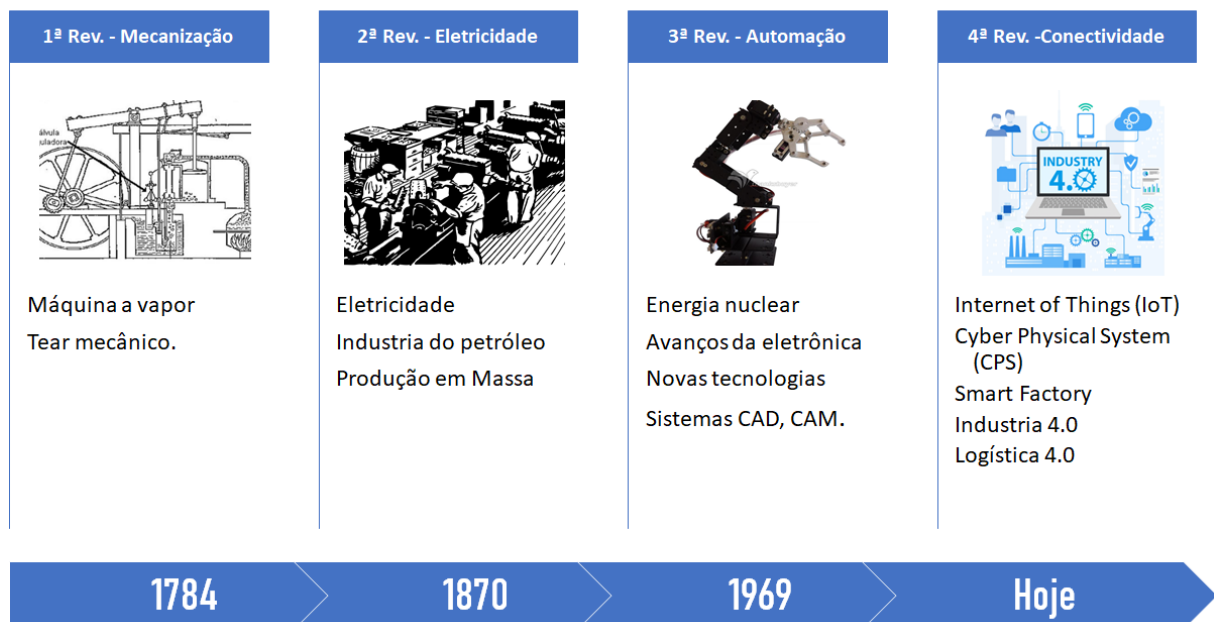
De acordo com os estudos de Bartodziej (2017), as transformações que se associam aos conceitos da indústria 4.0 possuem grande habilidade para aumentar os índices de flexibilidade nas empresas, incluindo produção, velocidade com que ocorrem as mudanças e

qualidade dos processos produtivos, com reflexos que superam as questões econômicas e vão de encontro às pessoas, ao trabalho, assim como ao próprio governo.

Seguindo essa percepção, é avaliado que a integração dessas mudanças vem sendo ponderada, segundo exposto, como quarta revolução industrial, que embora compreenda como diferente das demais revoluções, apresenta características notórias para o contexto industrial (CNI, 2016).

Santos *et al.* (2018) destacam, pela Figura 8, sobre a ligação entre a indústria 4.0 e as demais revoluções industriais, demonstrando as características de cada transformação e o processo evolutivo da área em ações de dimensão mundial.

Figura 8 – Revoluções Industriais e a indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018).

Na percepção ainda de Santos *et al.* (2018), iniciada em 2011, a indústria 4.0 vem recebendo grande consideração em se tratando da posição dos governos quanto à dimensão que ocupa, englobando empresários, pesquisadores, instituições de ensino, tornando-se um caminho para o seguimento de novas linhas de pesquisa, com possibilidades de atuação distintas, com exames efetuados por meio de um foco multidisciplinar pelas diversas áreas da ciência, o que pode ser visto, por exemplo, na administração, ciências da computação e engenharia.

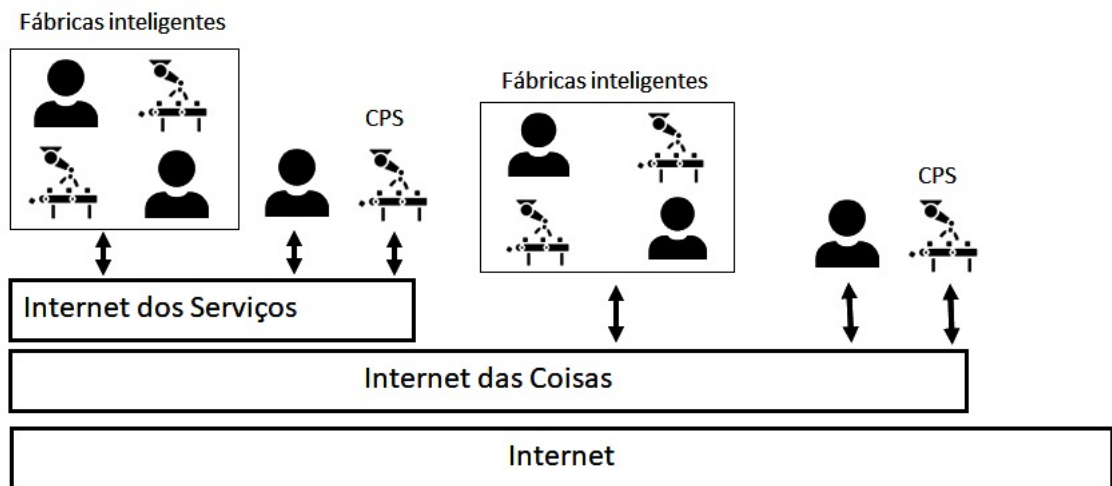
Liao *et al.* (2018) citam que a terminologia em questão, indústria 4.0, possui origem na Alemanha, sendo designada como um conceito comunitário relacionado a tecnologias e indústrias inteligentes que se apresentam diante do acompanhamento e controle de processos nas organizações empresariais.

A indústria 4.0, segundo demonstrado, possui o objetivo de demonstrar um novo modelo de fabricação a partir do uso de computadores, integrando processos de caráter digital e físico. Desse modo, o intento consiste em obter a fábrica inteligente, que se caracteriza pela capacidade das empresas em se adequar às mudanças, bem como estimular a eficiência de recursos, melhorando os processos de trabalho e incorporando aos consumidores e demais parceiros de atividades em processos de negociações e atribuídos de valor (TAI *et al.*, 2018).

Liao *et al.* (2018) observam que na indústria 4.0, o embasamento tecnológico é constituído a partir da presença de recursos de ordem cibernética e físicas, o que engloba a internet das coisas, essa entendida como um tipo de cadeia de objetos de origem física que são aptos a reunir e encaminhar informações.

Pereira e Simonetto (2018) esclarecem, por meio da Figura 9, sobre a estrutura em que se encontra a internet 4.0.

Figura 9 – Estrutura da internet 4.0



Fonte: Adaptado de Pereira e Simonetto (2018).

Seguindo essa premissa, Becker *et al.* (2018) observam que a indústria 4.0 opera no sentido de promover uma mudança expressiva no sentido de produção e fabricação para um conhecimento de valor assinalado pela descentralização e auto regulação, competente por

conceitos e tecnologias, como é visualizado na indústria aditiva, fábricas inteligentes, internet das coisas (IoT), computação em nuvem, sistema cyber-físico (CPS) e internet dos serviços (IoS), atuando no objetivo de contribuir para que as empresas sejam capazes de atender às próximas produções.

Nesse sentido, o que se observa, de acordo com Cavalcante e Almeida (2018), é que a indústria 4.0 busca aumentar as técnicas de comunicação dos equipamentos e máquinas com uma interferência mínima de pessoas no decorrer dos processos produtivos. De mesmo modo, salienta-se que a indústria 4.0 é percorrida como um importante recurso que se caracteriza pela inclusão de automação de sistemas assinalados pela digitalização e uso de mecanismos vistos dentro da tecnologia da informação para a produção de serviços e produtos nas empresas.

Segundo abordado, a indústria 4.0 elucida a respeito da inclusão de conceitos dos conjuntos cyber e físicos, incluindo tecnologias que visam a estruturação de unidades e fábricas inteligentes, deixando as pessoas como coadjuvantes dos processos de produção nas organizações (PEREIRA; SIMONETTO, 2018).

Bartodziej (2017) acredita que as organizações empresariais, a partir da compreensão a despeito da indústria 4.0, têm maior capacidade para introduzir os recursos definidos como integrantes dessa indústria, reunindo, como resultado, vantagens da utilização da indústria 4.0 em suas operações cotidianas.

Liao *et al.* (2018) avaliam, segundo demonstrado, que a indústria 4.0 encontra-se conectada com as tecnologias de base digital que apresentam maior importância diante do trajeto de produção, mas que não se limita à sua utilização.

Santos *et al.* (2018) ponderam que as tecnologias que são agregadas à indústria 4.0 incidem como notórias para os instrumentos de digitalização das empresas, onde tornam-se responsáveis pelo processo de desenvolvimento das atividades das empresas em sua totalidade.

A introdução de trabalhos usados em benefício da digitalização e automação de procedimentos e métodos nas empresas precisa, primordialmente, pontuar acerca de assuntos de conteúdos ambientais, político, sociais e econômicos, não se limitando apenas às atividades com pauta em tecnologia, o que ainda vem sendo visto no ambiente brasileiro como uma barreira que coopera para que o país seja conduzido em um sentido oposto ao novo padrão industrial a que a 4.0 se enquadra (FIRJAN; SENAI; FINEP, 2019).

Dentro da indústria 4.0 pode ser visto diversos desafios em razão da notoriedade que a área vem demonstrando no contexto atual, onde as empresas apresentam maior possibilidade

de se integrar digitalmente durante seus processos de produção a partir da introdução de novas tecnologias, assim como cadeias de software e hardware, concebendo um canal adequado em termos de infraestrutura de internet nas organizações empresariais (CNI, 2016).

O que se observa, segundo Cavalcante e Almeida (2018), é que por meio da indústria 4.0 as empresas são capazes de possuir uma maior quantidade de equipamentos que trabalham no objetivo de expor, otimizar e estimular a produção de novas tecnologias, o que na esfera brasileira é entendido como um potencial benefício, uma vez que abrange soluções e customização, incluindo, de igual forma, a presença de capacitação e formação de um novo perfil de profissionais, aptos nos setores de eletrônica, assim como dotados de conhecimento acerca da automatização de processos e unificação em rede.

Ainda assim, Santos *et al.* (2018) salientam que no ambiente brasileiro, a indústria 4.0 engloba a regulação e auxílio estimulado por diretrizes e parâmetros industriais, assim como incentivos oriundos do segmento público e privado, trabalhando no intento de difundir e inserir tecnologias novas.

Pereira e Simonetto (2018) acreditam que a indústria 4.0, nos locais em que se encontra implementada, incita na redução de custos e aumento na eficiência diante dos processos que abrange, e, as vantagens decorrentes da indústria 4.0 podem ser verificadas pela integração de quatro segmentos, que são avaliados como produtividade, uso de recursos, aumentos nos percentuais de receitas das organizações, maior nível em termos de empregos e investimentos no setor.

Bartodziej (2017) complementa que a indústria 4.0 reúne análises a despeito das características das organizações empresariais que têm o intento de incluir seus métodos nos processos de produção, sendo analisado o mercado e as necessidades por ele demandado, com informações que reforcem a indústria 4.0 como uma real oportunidade de crescimento empresarial.

2.4 TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

Na pesquisa desenvolvida por Kaizer, Heller e Oberkamp (2015), é apresentada uma definição para o termo simulação como o processo de imitar o comportamento de um sistema, objeto, fenômeno ou processo através de um modelo, sendo ele lógico, matemático ou físico. Nesta seção será feito um levantamento do estado da arte sobre o tema simulação, de forma a compor a base conceitual do trabalho.

Pirola, Zambetti e Cimini (2021) apresenta em sua pesquisa a aplicação de um modelo de simulação em uma indústria têxtil. Seu modelo se propõe em sequenciar a produção de maneira sustentável, utilizando tecnologias de obtenção de dados em tempo real, através de dispositivos IoT. Em seu trabalho foi utilizado o software Arena para construir o modelo virtual da indústria. Após validação do modelo, uma análise de diferentes cenários foi feita e se percebeu oportunidades de melhoria em relação ao tempo de setup das máquinas, em torno de 13% de diminuição em um dos cenários, e aumento da produtividade da unidade.

Vieira *et al* (2019) propôs um modelo de simulação para uma unidade de distribuição de produtos de construção civil. O modelo proposto simula o processo de chegada de veículos para o carregamento de produtos e espera na área de estacionamento. Os objetivos principais desse modelo seria de analisar o tempo de espera nas filas de carregamento em diferentes cenários, analisar a ocupação do estacionamento externo onde os veículos aguardam e a realização de cenários experimentais que apresentem ganhos em termos de tempo de carregamento. Foi verificado que seriam necessários, pelo menos, 3 dias de trabalho para carregar todos os pedidos planejados para aquela unidade.

No estudo realizado por Sujova *et al.* (2020) foi desenvolvido um modelo de simulação de uma fábrica de automóveis. Foram simulados o cenário original da unidade, a qual a construção dos componentes automotivos é semiautomatizada, com a presença de trabalhadores no processo de produção, e um cenário com melhorias implementadas, a qual foi simulado o mesmo processo de produção, mas com a utilização de robôs substituindo os trabalhadores. Uma série de melhorias foram notadas a partir da análise comparativa dos cenários, tais como: aumento na eficiência do processo, devido a diminuição do tempo de espera da linha de produção e um aumento do aproveitamento do expediente, subindo de 36,46% para 45,91%.

No trabalho desenvolvido por Tamburis e Esposito (2020) um modelo foi desenvolvido para simular o comportamento de processos de um setor de oftalmologia de um hospital localizado na Itália. Esse modelo utilizou técnicas de mineração de processos para a obtenção de dados para o modelo. Foram utilizadas duas ferramentas para esse modelo, o ProM6, para mineração de dados sobre o processo através de *plug-ins* e a utilização do software comercial de simulação Simul8. Esse trabalho se propôs a mostrar a possibilidade de um novo framework de simulação utilizando técnicas de mineração de dados para obtenção de dados do processo.

Por fim Cavdur *et al.* (2019) apresentou um estudo de caso o qual utilizou conceitos de mapeamento do fluxo de valor e simulação no contexto de serviços de manutenção de uma universidade pública. Problemas em relação a satisfação do cliente no tempo de atendimento e cargas de trabalhos desbalanceadas entre os funcionários foram os motivos para o desenvolvimento desse estudo. Os resultados obtidos foram uma diminuição do tempo de utilização de técnicos de manutenção e no tempo de espera das operações.

2.5 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Nesta seção será feito um levantamento do estado da arte sobre as principais pesquisas e metodologias de avaliação de produtividade, de forma a embasar esta pesquisa e mostrar a relevância desse tema.

Rodriguez, Regueiro e Doldan (2020) apresenta um estudo sobre a análise de produtividade do mercado eólico na Espanha, fazendo uma análise da evolução da produtividade total dos fatores (TFP – *Total Factor Productivity*), utilizando um indicador de produtividade chamado Índice de Malmquist (MPI – *Malmquist productivity index*). Através desse indicador é possível medir o nível de evolução tecnológica e de eficiência de um sistema. No trabalho, os dados foram retirados do banco de dados SABI (*Iberian Balance sheet Anlysis System*) e a técnica de análise utilizada foi a Análise Envoltória de Dados. Os resultados obtidos de 96 fazendas eólicas analisadas, mostraram que houve um aumento de 14% da capacidade instalada entre os anos de 2007 e 2015.

Em outro estudo desenvolvido por Calvetti *et al.* (2021), uma análise da produtividade dos trabalhadores, em termos de impacto ambiental, foi desenvolvida. A pesquisa faz uma avaliação de ciclo de vida considerando o impacto ambiental que os trabalhadores da área de construção civil têm, através do levantamento do nível de emissão de CO₂ e de desperdício de água na operação. Através dessa análise foi possível visualizar que trabalhadores que operam em locais de construção desperdiçam cerca de 33% mais de água e emitem mais de 1185% de CO₂, comparando-se com trabalhadores administrativos, além de apresentar a hipótese de que países com menor produtividade nesse setor, podem causar mais impactos ambientais do que países mais desenvolvidos.

Ainda no âmbito de análise da produtividade na construção civil, AlChaer e Issa (2020), desenvolveram um método de avaliação da produtividade de engenheiros em suas atividades. O modelo de avaliação propõe um sistema de pontuação das atividades do

engenheiro, através de uma equação com múltiplas variáveis que mapeiam o desempenho do engenheiro em atividades repetitivas, assim como o número de atrasos. Essa equação retorna um valor em termos de porcentagem, a qual pode ser utilizada para medir o nível de produtividade do engenheiro, assim como, servir como base para um mapeamento de oportunidade de melhorias em sua rotina.

Um estudo desenvolvido por Lyu, Bertolini e Pfeffer (2020) apresenta uma hipótese, relacionando a produtividade de trabalhadores a um tipo de planejamento urbano conhecido como TOD (*Transit-Oriented Development*), onde a malha urbana tem grande foco no desenvolvimento de vias de transporte público, tais como ciclovias e sistemas de transporte coletivos, alinhados com as áreas residenciais e comerciais de uma região. Dessa forma, um modelo de análise da produtividade dos trabalhadores de indústrias em Beijing, China, foi desenvolvido. Os resultados obtidos apresentam uma não relação entre a presença de TOD com a produtividade de trabalhadores na indústria, porém, em algumas empresas prestadoras de serviço, houve um aumento considerável em regiões com um bom desenvolvimento da malha pública.

Bereznicka e Wicki (2021) propuseram uma análise do efeito de pagamento de subsídios operacionais na produtividade dos operadores de fazendas polonesas. A análise foi desenvolvida através do método de regressão estatística durante os anos de 2010 a 2018 e se percebeu uma influência positiva na produtividade do setor agricultor em áreas com maiores terras cultiváveis e com maiores valores de capital por trabalhador e uma correlação negativa, de uma forma geral, com taxas de subsídios. De forma geral, pois, foi percebido que pequenos agricultores tiveram um impacto positivo com a presença de subsídios.

Na pesquisa de Kim *et al* (2021), devido à dificuldade de se mensurar a produtividade real dos operadores da construção civil, foi proposta uma análise da produtividade dos trabalhadores da construção civil na Coreia do Sul através da mensuração dos tempos de despendidos nas atividades pelo meio de simulações. O modelo utilizou a aplicação de um modelo 3D para simular a operação, sistema de tempos predeterminados (PMTS) e simulação de eventos discretos. O PMTS fora utilizado para determinar os tempos gastos nas atividades analisadas, o modelo 3D e a simulação de eventos discretos foram utilizadas para a obtenção do tempo total de um ciclo de atividade de um operador. Percebeu-se que esse tipo de metodologia, aproximou-se bastante da realidade e se mostrou uma maneira robusta de se analisar a produtividade da operação.

Por fim, Kubečková e Smugala (2021), semelhante ao trabalho anterior, propôs uma metodologia para determinar o tempo gasto no processo na área da construção civil. Métodos

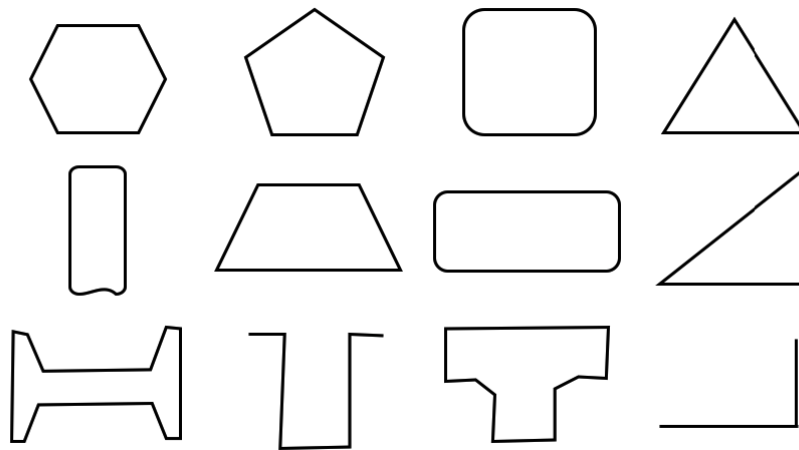
estatísticos foram utilizados para prever o tempo necessário para finalizar uma construção de acordo com o número de empregados, processos tecnológicos e mão-de-obra necessária para finalização da obra. Condições climáticas desfavoráveis foi um dos motivos apresentados na diminuição da produtividade dos operadores, nessa pesquisa.

Através do levantamento do estado da arte sobre a análise de produtividade em diversos setores, percebeu-se que grande parte dos esforços em pesquisa estão centradas na análise de setores de construção civil e na utilização de técnicas estatísticas e de simulação para seu desenvolvimento. Portanto, evidencia-se a relevância dessa pesquisa, a qual foca seus esforços em analisar a produtividade da mão-de-obra em uma indústria siderúrgica, setor pouco estudado na academia.

3 MODELO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE OPERADORES PARA SIDERÚRGICAS COM GRANDE VARIEDADE DE SKUS

O processo de produção de corte e dobra de vergalhões em uma indústria siderúrgica é projetado para atender diversas especificações em termos de características do produto que envolvem as dimensões de comprimento e curvaturas da peça para um determinado tipo de vergalhão. A Figura 10 ilustra alguns exemplos de SKUs de aço cortado e dobrado que uma indústria de corte e dobra de vergalhões pode produzir. Devido diversas intervenções manuais do operador na máquina e a quantidade infinita de SKUs a serem produzidos, cada projeto é específico de cada cliente a dificuldade para ter a padronização de cada produção e saber a produtividade de cada operador nas diversas máquinas.

Figura 10 – Exemplos de SKUs de uma indústria de corte e dobra de vergalhões

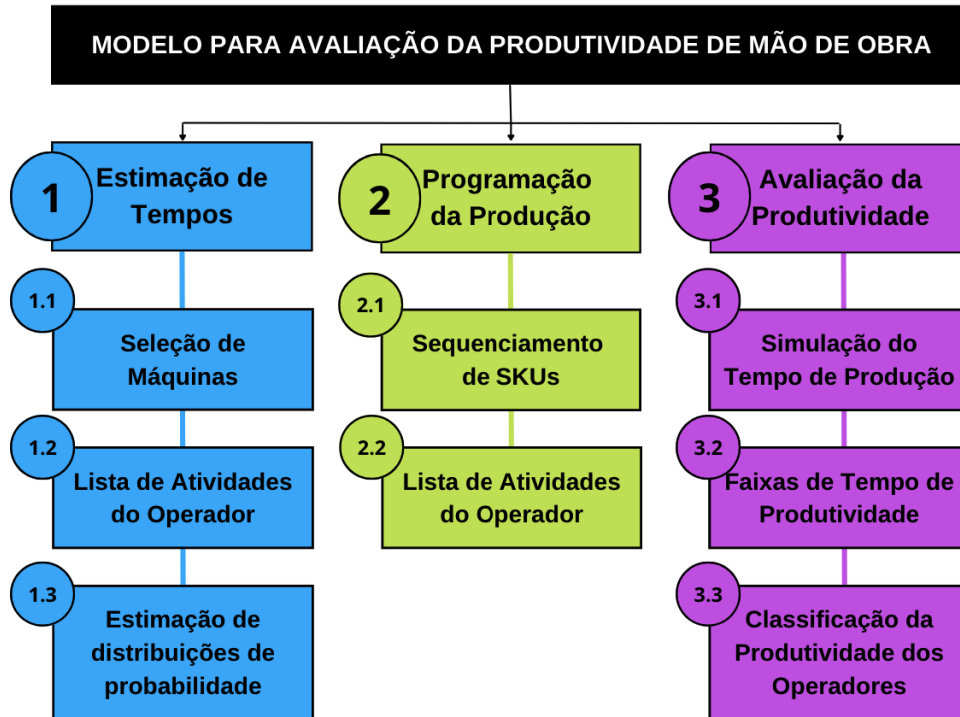


Fonte: O Autor (2022).

Para um determinado conjunto de especificações, tem-se um SKU particular. Ao se considerar a diversidade de tipos de SKUs possíveis tipicamente demandados em uma indústria siderúrgica de corte e dobra de vergalhões, tem-se uma infinidade de opções. Por este motivo, o escopo do modelo proposto neste capítulo não possui limitações em termos do quantitativo de SKUs que uma planta seria capaz de processar. Em uma planta de corte e dobra de vergalhões, a quantidade de SKUs produzidas chega ser superior a 3 mil tipos distintos por dia. Diante desta infinidade de SKUs, avaliar a produtividade se torna uma questão complexa, uma vez que fica difícil a criação de padrão de referências no processo produtivo. Após a conclusão da produção de um conjunto de SKUs, surge o questionamento se o tempo despendido pelos operadores foi satisfatório ou não. Este questionamento

fundamenta o propósito do modelo de avaliação da produtividade da mão de obra proposto nesta dissertação ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Framework do modelo para avaliação da produtividade da mão de obra



Fonte: O Autor (2022).

A produtividade da mão de obra no segmento de produção de corte e dobra de vergalhões em uma indústria siderúrgica deve avaliar essencialmente os tempos em que a máquina está ociosa. Dentre as atividades realizadas pela mão-de-obra, estão citadas as de abastecimento da máquina, introdução do vergalhão, inspeção da matéria-prima, inspeção da máquina, regulagem do vergalhão, programação da máquina, amarração do vergalhão após produção e retirada do material após produzido. Essas atividades podem representar cerca de 70% do tempo total de produção, durante a jornada de trabalho dos operadores (OLIVEIRA JUNIOR; NERI; FERREIRA, 2021).

O operador executa diversas intervenções manuais na máquina e avaliar se o desempenho de uma determinada produção foi satisfatório envolve vários fatores tais como formato, diâmetro do vergalhão, quantidade de etiquetas e equipamento. Considerando que cada projeto é específico de cada cliente, portanto a avaliação da produtividade de cada operador em uma máquina é uma tarefa bastante desafiadora.

O modelo de avaliação da produtividade da mão de obra proposto inicia com a modelagem da estimação de tempos de produção na etapa 1. Para isto, na etapa 1.1, se faz necessária a seleção de um conjunto de m máquinas para análise da produtividade, representadas por Maq_i , onde $i = 1, \dots, m$.

Na etapa 1.2, para cada Maq_i é necessário estabelecer uma lista de n operações realizadas pela mão de obra para o funcionamento da máquina, representadas por Op_j , onde $j = 1, \dots, n$. Na etapa 1.3, é razoável assumir que a variável aleatória do tempo de execução da operação j na máquina i , T_{ij} , pode ser modelada por uma distribuição de probabilidade *a priori*. Assume-se que protocolos estruturados para elicitación do conhecimento *a priori* de especialistas podem ser utilizados para estimação de parâmetros de uma distribuição de probabilidade particular assumida. Por fins de simplicidade, recomenda-se o uso de uma distribuição triangular para esta finalidade. A justificativa se dá pela facilidade em obter de especialistas uma estimativa razoável dos parâmetros da distribuição. As distribuições de probabilidade *a priori* são representadas por $\pi(T_{ij})$ onde $i = 1, \dots, m$ e $j = 1, \dots, n$.

Na etapa 2, a programação da produção de um conjunto de SKUs para um determinado horizonte de tempo é realizada. Em seguida na etapa 2.1, são definidas as sequencias de SKUs e quantidades de produtos que serão produzidos por um conjunto de máquinas Maq_i , onde $i = 1, \dots, m$. Para cada máquina haverá uma sequência de SKUs a ser produzida para um tempo estipulado, representados por $SeqP(Maq_i) = \{SKU_1, SKU_2, \dots\}$. Para uma sequência estabelecida para uma máquina, o programador da produção precisa identificar quais operações Op_j , listadas na etapa 1.2, serão realizadas. Uma matriz binária com a identificação de quais operações serão realizadas é ilustrada na Tabela 4. Logo, na etapa 2.2, uma sequência de operações representada por $SeqO(Maq_i)$ pode ser estabelecida para cada $SeqP(Maq_i)$. Para o exemplo ilustrado na Tabela 4, tem-se $SeqO(Maq_i) = \{Op_1, Op_2, ,Op_3, Op_2, Op_3, ,Op_3, Op_3, Op_2, ,Op_3, Op_4\}$.

Tabela 4 – Exemplo de identificação de operações programadas para uma sequência de SKUS

	Op_1	Op_2	Op_3	Op_4
SKU_1	1	1	1	0
SKU_2	0	1	1	0
SKU_3	0	0	1	0
SKU_4	0	0	1	0
SKU_5	0	1	1	1

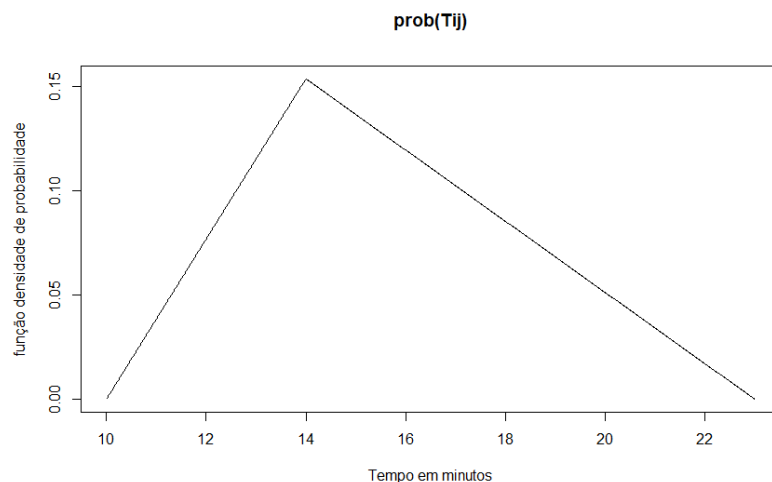
Fonte: O Autor (2022).

O modelo de avaliação da produtividade se propõe a utilizar técnicas de simulação, aliada a técnicas estatísticas, para a determinação de tempos operacionais de cada atividade envolvida na produção. Diversos cenários podem ser simulados para a obtenção de intervalos de desempenho que levarão em conta atividades que não se tem o registro do tempo de execução controlado.

A avaliação da produtividade é realizada na etapa 3. Para isto, a simulação do tempo de produção das operações realizadas em uma $SeqO(Maq_i)$ é realizada com a etapa 3.1, considerando uma geração de um número razoável de amostras aleatórias para cada operação da sequência e a distribuição de probabilidade adotada $\pi(T_{ij})$.

A título de ilustração, suponha que uma determinada operação de uma sequência de SKUs para uma máquina, tenha uma distribuição de probabilidade a priori formulada por uma distribuição triangular com os parâmetros, $a=10$, $c=14$ e $b=23$. A distribuição de probabilidade triangular é definida por três parâmetros básicos, sendo eles: um limite inferior a , um limite superior b e uma moda c . A função densidade de probabilidade é ilustrada na Figura 12. Para cada amostra de uma rodada de simulação um tempo de operação será estimado no intervalo $[a, b]$. Para cada simulação de T_{ij} , gera-se um número aleatório entre 0 e 1 e pela inversa da distribuição de probabilidade pode-se obter o ponto correspondente a variável aleatória T_{ij} . Após uma geração de uma amostra razoável para T_{ij} das operações em uma sequência $SeqO(Maq_i)$, uma tabela de frequência pode ser construída para representar a distribuição estimada do tempo total das operações para uma $SeqO(Maq_i)$.

Figura 12 – Exemplo de função densidade de probabilidade triangular para uma determinada operação



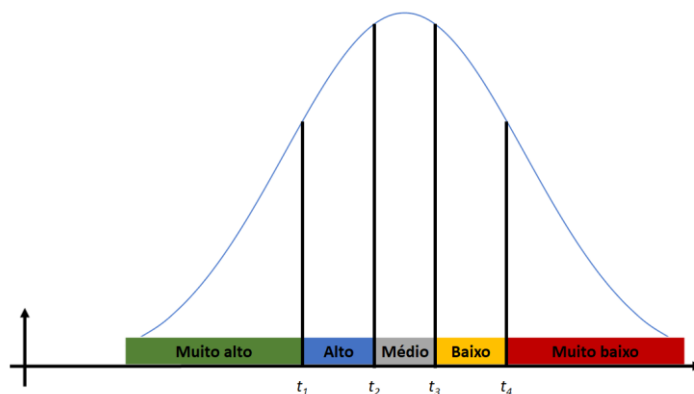
Fonte: O Autor (2022).

Na etapa 3.2, trata da questão básica de definir faixas de tempo esperadas para níveis de produtividade para um determinado conjunto de SKUs programados para serem produzidos. Por exemplo, suponhamos que seja razoável avaliar a produtividade em cinco níveis. A terminologia utilizada para cada nível pode ser adotada de acordo com a conveniência, assim como um conjunto de *níveis de produtividade* = { *muito alto, alto, médio, baixo, muito baixo*}. O modelo deve ser capaz de definir quais as faixas de tempo estimadas para classificar um operador nestes níveis. Para uma situação com 5 níveis, pode se considerar as seguintes faixas de tempo:

- $[0 ; t_1)$ – Faixa 1 - Nível de produtividade muito alto;
- $[t_1 ; t_2)$ – Faixa 2 - Nível de produtividade alto;
- $[t_2 ; t_3)$ – Faixa 3 - Nível de produtividade médio;
- $[t_3 ; t_4)$ – Faixa 4 - Nível de produtividade baixo;
- $[t_4 ; \infty)$ – Faixa 5 - Nível de produtividade muito baixo.

As faixas de tempo para classificação dos operadores podem ser definidas conforme ilustrado na Figura 13, baseados na distribuição de probabilidade obtida a partir da simulação. É importante ressaltar que provavelmente as dimensões das faixas de tempo para os níveis de produtividade devem não ser uniformemente distribuídas. Para 5 níveis de produtividade, pode se definir 5 intervalos equiprováveis onde $P(T < t_1) = 0,20$; $P(t_1 < T < t_2) = 0,20$; $P(t_2 < T < t_3) = 0,20$; $P(t_3 < T < t_4) = 0,20$; $P(T > t_4) = 0,20$.

Figura 13 – Faixas de tempo para classificação dos operadores em 5 níveis de produtividade



Fonte: O Autor (2022).

Para etapa 3.3, o objetivo é classificar a produtividade dos operadores com base na comparação do desempenho realizado e as faixas de tempo esperadas para cada nível de

produtividade. Basta observar o tempo total realizado para um conjunto de operações conforme $SeqO(Maq_i)$ e comparar com as faixas dos níveis de produtividade estimadas com base na simulação. Caso um operador desempenhe uma programação em $SeqO(Maq_i)$ no tempo T_1 e assumindo que T_1 seja maior que t_2 e menor que t_3 , pode-se classificar o operador com o nível de produtividade médio (Faixa 3).

Este modelo foi criado para avaliação da produtividade dos operadores durante as atividades manuais que são destinados a fazer para garantir o processo com segurança, qualidade, custo, moral e entrega. Como aproximadamente estas atividades manuais representam certa de 70% do tempo da jornada a necessidade de ter um modelo para medir a produtividade é de suma importância para melhorar os processos e evoluir com os resultados.

No capítulo 4 será possível observar a utilização do modelo criado em um caso real, em uma indústria siderurgia de grande porte, na máquina Planet 20. Como antes de criar o modelo a empresa tinha impactos negativos com baixas ocupações de programação de volumes nas máquinas, não media a produtividade da mão de obra dos operadores, tudo era avaliado pelo peso produzido, sem levar em consideração as complexidades de produção, atrasos constantes nas entregas, falta de credibilidade dos clientes e clima ruim entre os colaboradores devido aos baixos resultados.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem por objetivo avaliar a aplicabilidade do modelo proposto na seção anterior em uma empresa de corte e dobra de vergalhões em uma indústria siderúrgica. O instrumento metodológico do estudo de caso pode evidenciar diversas características do problema em análise assim como apresentar os resultados de aplicação do modelo proposto.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa do estudo de caso fica localizada no estado de Pernambuco e faz parte de um grupo produtor de aço e um dos principais fornecedores de aços longos nas Américas e de aços especiais no mundo. No Brasil, também produz aços planos e minério de ferro, atividades que ampliam o mix de produtos oferecidos ao mercado e a competitividade das operações. Além disso, a empresa transforma, anualmente, milhões de toneladas de sucata em aço, reforçando seu compromisso com o desenvolvimento sustentável das regiões onde atua. A unidade em análise produz vergalhão cortado e dobrado e tem como principal mercado a construção civil e energia eólica.

A unidade é responsável por 24% da produção de corte e dobra do Brasil, atende todo o norte e nordeste para mais de 300 clientes. Recebe matéria-prima de todos os estados onde produz aços longos.

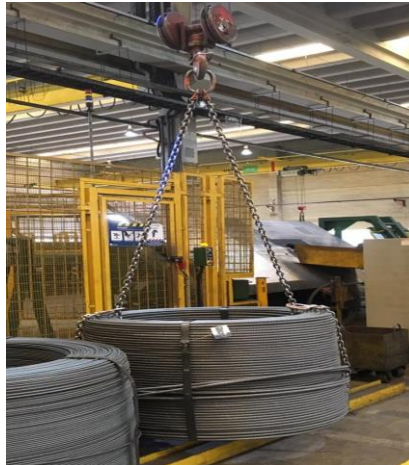
Na fábrica do estudo todo material, matéria prima e produto acabado, é transportado por pontes rolantes e empilhadeira de médio porte. Após a produção nas máquinas os produtos são transportados para os caminhões que fazem a logística externa e entrega diretamente nas obras para os clientes.

Equipada com máquinas de última geração, tem um sistema rigoroso de segurança para garantir a vida das pessoas e atender as legislações vigentes do Brasil.

Produz em média quase quatro mil SKUS por dia nas máquinas de corte, dobra e corte e dobra, sendo elas automáticas e manuais.

Para garantir a segurança e qualidade do processo os operadores realizam várias atividades manuais, chegando a 70% do tempo de sua jornada. Com isso o estudo de caso para entender, classificar e criar um modelo de produtividade para melhorar a gestão operacional. Segue abaixo algumas fotos para exemplificar as atividades manuais estudadas neste trabalho.

Figura 14 – Abastecimento de matéria prima



Fonte: O Autor (2022).

Figura 15 – Introdução de vergalhão



Fonte: O Autor (2022).

Figura 16 – Regulagem da matéria prima e programação do SKU



Fonte: O Autor (2022).

Figura 17 – Retirada do material da máquina



Fonte: O Autor (2022).

Figura 18 – Inspeção da máquina



Fonte: O Autor (2022).

Figura 19 – Amarração do vergalhão após produzido



Fonte: O Autor (2022).

Para o estudo foi proposta a máquina italiana do fabricante MEP, denominada de Planet 20 Plus, estribadeira de grande porte, produz de 10mm até o 20mm com matéria prima em forma de carretel, segue abaixo a foto para ilustração.

Figura 20 – Máquina planet 20 plus



Fonte: O Autor (2022).

4.2 ETAPA 1 – ESTIMAÇÃO DE TEMPOS

Ao analisar a produtividade de um operador usando e sua interação homem x máquina no processo de produção, a aplicação do modelo proposto pode auxiliar na melhoria da produtividade do sistema. Por exemplo, o uso de uma estribadeira automática no processo de produção pode automatizar muitas tarefas tais como endireitar, medir, dobrar e cortar estribos de acordo com uma programação prévia. Embora uma estribadeira automática dependa de algumas operações humanas para o seu funcionamento, alguns modelos possuem capacidades de produção de até 2500 unidades de estribos por hora.

Para uma programação de produção de um pedido de um conjunto de SKUs, uma série de atividades deve ser realizada pelos operadores tais como: abastecimento de máquina; introdução de vergalhão; inspeção de matéria-prima; inspeção de máquina; regulagem de vergalhão; programação de máquina; amarração de vergalhão após produção e retirada do material produzido.

Embora as máquinas sejam automáticas, se faz necessária a atuação do operador no comando para executar algumas atividades manuais. A lista de máquinas que a empresa utiliza no processo de produção estão apresentadas na Tabela 5. Como aplicação piloto, a máquina Planet 20 foi utilizada como referência neste estudo de caso, conforme indicado na etapa 1.1 do modelo proposto.

Tabela 5 – Lista de máquinas utilizadas pela empresa no processo de produção

Máquinas	Descrição
Format 12 HS	Estribadeira de pequeno porte automática, opera com a quantidade de 2 vergalhão em processamento até diâmetros de 12,5mm
Planet 16 e 20	Estribadeira de grande porte automática, opera com 2 vergalhões de até 16mm e na 20 com 1 de 20mm
Cut Line 40	Cortadeira automática, opera com 1 vergalhão de 40mm, 2 de 32mm, 3 de 25mm e 4 de 20mm
Metronic 10 e 16	Endireitadeira de grande porte, opera com até 1 vergalhão de 16mm na 16 e até 1 de 10mm na 10
CS40 e CS440	dobreadeiras de grande porte semiautomáticas, opera com até 1 vergalhão de 40mm
Calandra	Máquina manual opera com 1 vergalhão de até 32mm

Fonte: O Autor (2022).

Para a etapa 1.2, a definição de uma lista de atividades realizadas por um operador na produção de estruturas de aço cortado e dobrado com uso de uma estribadeira automática Planet 20 são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Atividades executadas pelo operador no uso da máquina Planet 20

Sigla	Atividade	Descrição
Op₁	Abastecimento de máquina	O operador identifica a matéria prima e faz o abastecimento na máquina solicitada
Op₂	Introdução de vergalhão	O operador leva a matéria prima até a entrada da máquina
Op₃	Inspeção de matéria-prima	O operador faz uma inspeção da qualidade da matéria prima para verificar possíveis problemas durante a fabricação aço
Op₄	Inspeção de máquina	O operador realiza uma checagem com todos os componentes de segurança da máquina e testa o funcionamento
Op₅	Regulagem de vergalhão	O operador realiza o alinhamento, endireitamento e retiniedade do material
Op₆	Programação de máquina	O operador faz a leitura da etiqueta pelo código de barras e ajusta os parâmetros do painel principal da máquina
Op₇	Amarração de vergalhão após produção	O operador após produzir o material acabado faz a amarração conforme o padrão de cada cliente
Op₈	Retirada do material produzido	O operador retira o material acabado com ponte rolante e leva até a área de estoque intermediário da fábrica para posteriormente realizar o carregamento

Fonte: O Autor (2022).

É importante destacar que as atividades de produção apresentadas na Tabela 6 se referem ao processo de negócio da função produção. Além da função produção, os operadores dedicam esforços em diversas atividades relacionadas aos seguintes processos de negócio: recepção de pedidos; estimativa de pedidos e data de entrega; programação da produção e logística.

Assumindo que a variável aleatória do tempo de execução destas operações para quaisquer que sejam os SKUs possa ser modelada por uma distribuição triangular, um protocolo de um questionário foi aplicado com profissionais especialistas da empresa para estimação dos parâmetros da distribuição conforme apresentado na Tabela 7. Para avaliar o desempenho dos operadores na realização dessas operações, foi necessária a participação de um especialista para determinar os tempos dispendidos em cada operação, classificando-as em três possíveis cenários: otimista, mais provável e pessimista. Um especialista de corte e dobra de vergalhão com 8 anos de experiência na área foi consultado.

Tabela 7 – Estimação de parâmetros das atividades executadas pelo operador na Planet 20

Sigla	Atividade	Parâmetros da distribuição triangular (min)		
		Limite inferior <i>a</i>	Moda <i>c</i>	Limite superior <i>b</i>
Op₁	Abastecimento de máquina	10	14	23
Op₂	Introdução de vergalhão	13	20	32
Op₃	Inspeção de matéria-prima	1	3	8
Op₄	Inspeção de máquina	12	15	22
Op₅	Regulagem de vergalhão	4	7	16
Op₆	Programação de máquina	3	5	8
Op₇	Amarração de vergalhão após produção	3	5	7
Op₈	Retirada do material produzido	4	6	10

Fonte: O Autor (2022).

4.3 ETAPA 2 – PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Uma análise foi desenvolvida observando-se 5 operadores de turnos distintos, na mesma máquina. Foi utilizado como base uma programação da produção real de 10 SKUs para a máquina Planet 20. Para aplicação da Etapa 2, uma programação foi utilizada como referência representada por $SeqP(Maq_i) = \{SKU_1, SKU_2, SKU_3, SKU_4, SKU_5, SKU_6, SKU_7, SKU_8, SKU_9, SKU_{10}\}$. Uma matriz binária com a identificação de quais operações serão realizadas é ilustrada na Tabela 8. Logo, na etapa 2.2, uma sequência de operações representada por $SeqO(Maq_i)$ pode ser estabelecida com uma sequência de 46 operações. Cada SKU é um produto final customizado, envolvendo um conjunto de atividades específicas para seu desenvolvimento.

Tabela 8 – Identificação de operações programadas para uma sequência de SKUS

	<i>Op₁</i>	<i>Op₂</i>	<i>Op₃</i>	<i>Op₄</i>	<i>Op₅</i>	<i>Op₆</i>	<i>Op₇</i>	<i>Op₈</i>
SKU ₁	1	1	1	1	1	1	1	0
SKU ₂	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₃	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₄	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₅	0	1	1	0	1	1	1	0
SKU ₆	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₇	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₈	0	1	1	0	1	1	1	0
SKU ₉	0	0	1	0	1	1	1	0
SKU ₁₀	0	0	1	0	1	1	1	1

Fonte: O Autor (2022).

4.4 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

A avaliação da produtividade é realizada na etapa 3. Uma simulação do tempo de produção das operações realizadas em uma *SeqO(Maq_i)* foi realizada com uma amostra de tamanho 1000, ou seja, 46 valores de tempo foram gerados com base em uma distribuição triangular para cada amostra conforme parâmetros apresentados na Tabela 7. Dessa forma, foi possível fazer uma simulação e determinar os tempos totais esperados ser dispendido na lista de SKUs programados conforme ilustrado na tabela de frequência da Tabela 9 e histograma da Figura 21. Os dados apresentaram uma média de 272,21 minutos e desvio padrão de 6,88 minutos.

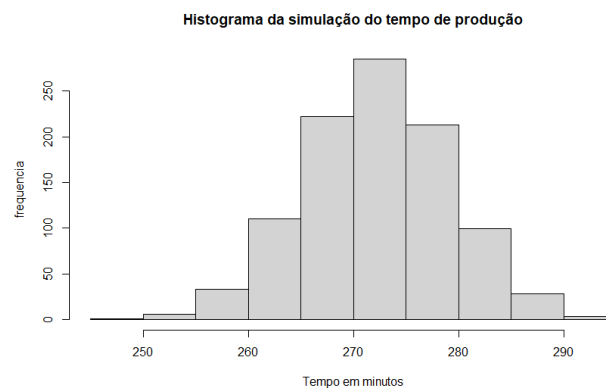
Tabela 9 – Tabela de frequência da simulação do tempo total de produção

T	Ocorrências	Frequência relativa
245 <= T < 250	1	0,001
250 <= T < 255	6	0,006
255 <= T < 260	33	0,033
260 <= T < 265	110	0,110
265 <= T < 270	222	0,222
270 <= T < 275	285	0,285
275 <= T < 280	213	0,213
280 <= T < 285	99	0,099
285 <= T < 290	28	0,028
290 <= T < 295	3	0,003

Fonte: O Autor (2022).

Com um histograma de frequência dos tempos totais obtidos pela simulação é possível perceber o formato da distribuição para dez faixas de valores, com valor mínimo de 247,63 e máximo de 294,42 minutos. Por meio de um teste de aderência a uma distribuição normal Shapiro-Wilk, obteve-se um valor-p igual a 0,758, reiterando a não rejeição da hipótese que os dados são normalmente distribuídos. Além disso, é possível observar o comportamento de uma distribuição normal do histograma da Figura 21.

Figura 21 – Histograma da simulação do tempo total de produção



Fonte: O Autor (2022).

Com o objetivo de classificar os operadores com base no desempenho do tempo de produção, os dados obtidos na simulação foram utilizados para determinar faixas de tempo para 4 níveis de produtividade, conforme etapa 3.2. Admitindo quatro níveis de produtividade *{muito bom, bom, regular e razoável}* considerando quatro intervalos equiprováveis com 25% de probabilidade, os limites de cada faixa foram obtidos por meio dos percentis da distribuição normal ajustada, logo $t_1 = 267,57$; $t_2 = 272,21$; $t_3 = 276,85$. Um tempo operacional real é classificado como muito bom quando o valor se encontra no primeiro quartil da distribuição ajustada, ou seja, quando se obtém um valor menor que 267,57. Para classificar um tempo operacional real como bom, o valor deve se encontrar entre o primeiro e o segundo quartil, entre 267,57 e 272,21. Para a classificação regular quando o tempo operacional real se encontra entre o segundo e terceiro quartil, entre os valores 272,21 e 276,85 e por fim, para a classificação razoável quando o tempo operacional real se encontra superior ao terceiro quartil, com valor acima de 276,85.

A partir desse sistema de classificação, é possível determinar o desempenho dos operadores mesmo para grande variedade de SKUs. Esse modelo de avaliação de operadores pode promover o crescimento da produtividade da planta através de um mapeamento de

desempenho de seus recursos produtivos de forma a minimizar possíveis gargalos e gerar um retorno financeiro adequado.

No sistema atual da planta, apenas se computa o tempo em que a máquina está em operação e o tempo em que ela está parada. O sistema não discrimina quais atividades e tempos são realizados pelos operadores quando a máquina está parada. Com os resultados pode-se classificar os operadores a fim de ter um melhor controle dos resultados operacionais.

4.5 APLICABILIDADE DO MODELO ANÁLISE DE RESULTADOS

Comparando a inclusão do modelo proposto nesta dissertação com a situação prévia sem a utilização do modelo, é possível identificar de o quanto a situação prévia tinha resultados superficiais e não atende as necessidades da empresa. Medir a produtividade pelo peso produzido (em kg/h) sem levar em consideração as variáveis do processo com grande variedade de SKUs, é uma forma limitada que não contribui para bons resultados nos indicadores que impactam no cliente, como índice de reclamações de clientes; ocupação da fábrica e OTIF (*On-time in-full*), que mensura se o item foi entregue no prazo e dentro das especificações definidas pelo cliente.

Após a implantação do modelo proposto pelo estudo, podemos observar uma melhora na ocupação, ou seja, uma melhora na quantidade de programação alocada para cada máquina, a informação de tempo utilizado para produção os pedidos, mesmo com complexidades infinitas. Foi possível observar uma melhor credibilidade das programações da produção devido a utilização de tempos padrão com base no modelo proposto. Com isto, os programadores contam com um auxílio de uma ferramenta capaz de proporcionar uma melhor assertividade das programações e tarefas realizadas pelos operadores.

Entende-se que o resultado alcançado após implantação dos modelos para medir a produtividade da mão de obra proporcionou impactos positivos na gestão da fábrica em estudo. A capacidade de classificar os operadores em níveis de produtividade mesmo para grande variedade de SKUs auxiliou as áreas de planejamento e controle da produção, e planejamento e controle da manutenção para alcance de indicadores chave da indústria. Dentre vários resultados alcançados com bom desempenho em diversos indicadores estratégicos da planta, foi possível evidenciar um resultado diferenciado para a unidade de produção, ao atingir recorde de produção por 4 vezes, após projeto implantado.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre as principais contribuições desta pesquisa pode-se destacar a facilidade de uso do modelo proposto assim como atende uma lacuna do setor proporcionando relevantes impactos econômicos e sociais na empresa em que foi aplicado. Como o setor siderúrgico no segmento de corte e dobra tem uma alta demanda, o modelo de avaliação da produtividade colabora para incrementos de produtividade da organização e impactando em ganhos financeiros com potenciais aumentos de faturamento e lucratividade. Do ponto de vista social, este modelo permite um aumento do valor agregado do operador ao processo que pode contribuir para o aumento da remuneração dos operadores.

A ausência da informação da produtividade dos operadores no momento em que as máquinas não estão em operação dificulta a gestão dos recursos produtivos da planta. Neste contexto, diversas decisões podem ser equivocadas pela ausência da informação da produtividade dos operadores.

O modelo para medir a produtividade da mão de obra na indústria com grande variedade de SKUs foi capaz de classificar o desempenho de operadores em níveis de produtividade assim como mapear tempos de cada processo e definir limites de tolerâncias para cada atividade, fazendo com que o planejamento seja mais assertivo e tenha mais credibilidade para os clientes, uma vez que a garantia de produção e entrega tende a ser atendida com maior probabilidade. Desta forma, a produtividade dos operadores passa a ser gerenciada mais efetivamente pela empresa proporcionando maior valor a organização.

A produtividade dos operadores é um ativo relevante para a indústria siderúrgica, pois torna possível indicar melhorias para de processos onde o operador tem as atividades realizadas. No estudo de caso de uma indústria em operação foi possível analisar a aplicabilidade do modelo proposto nesta dissertação.

O estudo aplicado impacta positivamente a sociedade, os acionistas e os próprios colaboradores da empresa visto que medir a produtividade dos operadores consegue gerenciar e aperfeiçoar a mão de obra afim de melhorar os processos, reduzir custos, aumentar a remuneração variável.

5.1 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre as principais limitações da pesquisa pode-se citar que o estudo de caso foi aplicado em uma pequena amostra do universo de produção que indústria enfrenta

constantemente. Neste sentido, espera que em trabalhos futuros, o escopo da pesquisa possa ser ampliado com amostras maiores. Além disso, a experiência no trabalho de campo do especialista é uma condição fundamental para o sucesso na aplicação do modelo proposto. Pode-se destacar também que existe a possibilidade que em função da complexidade do processo de produção alguns condicionantes sejam considerados para se modelar diversas distribuições de probabilidades particulares para cada cenário específico.

Para trabalhos futuros, entende-se que quanto mais reduzir o tempo dos operadores nos processos manuais, desde abastecimento até a retirada do material da máquina, mais tempo ele terá disponível para operar os equipamentos, logo a quantidade de volume produzida será cada vez maior, logo a empresa terá mais resultados, mais lucro, mais produtividade e mais pessoas satisfeitas.

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de sistema de computacional com base no modelo de avaliação da produtividade proposto para acompanhamento da produção e para emissão de alertas em tempo real em casos de baixa produtividade;
- Investigação e proposição de melhorias nos processos de produção com base em resultados de baixa produtividade;
- Ter um sistema em Power BI para que durante as atividades os operadores consigam identificar em qual classificação estão operando;
- Fazer semanas Kaizen para melhorar os processos a fim de reduzir os tempos de cada um dos processos;
- Padronizar as atividades após as melhorias e já estimar os tempos padrões de cada uma delas;
- Importante para os próximos trabalhos monitorar também a utilização dos equipamentos para garantir a efetividade da melhoria da produtividade;
- Pode explorar também o modelo para outras atividades como manutenção, logística e administrativas.

REFERÊNCIAS

- ALCHAER, E., ISSA, C. A. Engineering Productivity Measurement: A Novel Approach. *Journal of construction engineering and management*, v. 146, 2020.
- BARTODZIEJ, C. J. The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics. Berlin, Germany: Springer Gabler, 2017.
- BECKER, A.; SCHNEIDER, A.; ERCICO, J.; WERLANG, R. Os conceitos da indústria 4.0 associados a abordagem da capacidade dinâmica. *Anais. Engenharia de Produção*, ISSN 2594-4657, v.2, n.1, 2018.
- BEREZNICKA, J., WICKI, L. Do operating subsidies increase labour productivity in Polish farms? *Studies in Agricultural Economics*, v. 123, p. 114-121, 2021.
- BURIN, H. P.; SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R. Análise do indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) de uma empresa localizada em Santa Cruz do Sul-RS. *Anais. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Maceió, 2018.
- CALVETTI, D., GONCALVES, M., VAHL, F., MEDA, P., de SOUSA, H. Labour Productivity As A Means For Assessing Environmental Impact In The Construction Industry. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 20, p. 781-790, 2021.
- CAVALCANTE, C. G. S.; ALMEIDA, T. Os benefícios da Indústria 4.0 no gerenciamento das empresas. *Journal Of Lean Systems*. v.3, n.1. 2018.
- CAVDUR, F., YAGMAHAN, B., OGUZCAN, E., ARSLAN, N., SAHAN, N. Lean service system design: a simulation-based VSM case study. *Business Process Management Journal*, v. 25, p. 1802-1821, 2019.
- CNI. Confederação Nacional da Indústria. *Desafios para a indústria 4.0 no Brasil*. Brasília: CNI, 2016.
- CORRÊA, Henrique Luiz; GIANESI, Irineu Gustavo Nogueira, CAON, Mauro. *Planejamento, programação e controle da produção*. MRPII/ ERP. Conceitos, uso e Implantação Base para SAP, Oracle Apications e outros Softwares Integrados de Gestão. 5 ed. 4 reeimpr. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- CORRÊA, L. H.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços – Uma abordagem Estratégica*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- CRUZ, J. F.; SILVA, K. A. S.; FURONI, P. B.; HORITA, R. Y. A utilização do sistema de produção enxuta como estratégia para se alcançar a vantagem competitiva. *Universitári@. Revista Científica do Unisalesiano*. Edição Especial. Lins – SP, ano 7, n.14, 2016.
- DETREGIACHI FILHO, E.; MARTINS, N. O.; HERRERA, V. É. Análise do Sistema Toyota em uma indústria de embalagens plásticas da região de Marília – SP. *R. Gest. Industr.*, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, 2017.
- DIAS, Alexandre Aparecido. *Administração da produção e operações*. Aspectos antropológicos e sociológicos da Educação. 1 ed. Rio de Janeiro: SESES, 2015.

DORNELLES, J. V.; SELLITTO, M. A. Eficácia global de equipamentos (OEE) para diagnóstico e melhoria de produtividade na indústria de fundição. *Revista GEINTEC*. São Cristóvão/SE, v. 5, n. 3, 2015.

FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro; SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial; FINEP, Financiadora de Inovação e Pesquisa. *Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios*. Organizadores: Firjan SENAI, Finep. Rio de Janeiro: [s.n], 2019.

FRADE, M. C.; NUNAM, C; MORAIS, M. M.; CUNHA JUNIOR, J. J.; RODRIGUES, B. Implementação do indicador OEE (Eficiência Global dos Equipamentos) para medição da eficiência produtiva de uma indústria cervejeira. *Anais. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil*. João Pessoa/PB, 2016.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, L. C.; CORRÊA, R. G. F. Utilização do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em células de manufatura considerando o takt time. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Bauru, Ano 14, n. 3, 2018.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Brazil steel databook*. Anuário estatístico. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil. 2015.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Brazil steel databook*. Anuário estatístico. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil. 2021.

HERLAMBANG, A.; HIDAYATI, J. Strategy and policy for increasing work productivity of operators in the steel industry through work improvement with lean method (journal review). In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, v. 505, n. 1, p. 012074, 2019.

JESUS, D. D.; AZEVEDO, J. A. M.; DE LIMA, L. E. D. P.; DA SILVA, L. B. P. Gestão da qualidade e planejamento e controle da produção para avaliação da gestão em um bar alternativo. *Anais. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil*. João Pessoa/PB, 2016.

KAIZER, J.S., HELLER, A.K., OBERKAMPF, W.L. Scientific computer simulation review. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 138, p. 210-218, 2015.

KIM, J., GOLABCHI, A., HAN, S., LEE, D. Manual operation simulation using motion-time analysis toward labor productivity estimation: A case study of concrete pouring operations. *Automation in construction*, v.126, 2021.

KUBEČKOVÁ, D.; SMUGALA, S. Determination of construction process duration based on labor productivity estimation: A case study. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, v. 13, p. 2521 - 2538. 2021.

LIAO, Y.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F.; BREZINSKI, G.; VENÂNCIO, A. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, v. 28, 2018.

LIMA, E. C. O.. OEE: utilizando os conceitos para medir a eficácia de uma equipe de manutenção. *Anais. X Congresso Nacional de Excelência em Gestão*. 2014.

LYU, G., BERTOLINI, L., PFEFFER, K. Is Labour Productivity Higher in Transit Oriented Development Areas? A Study of Beijing. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, v. 111, p. 652-670, 2020.

MILESKI JUNIOR, A. *Processos Produtivos*. Curitiba: Instituto Federal do Paraná. Caderno elaborado pelo Instituto Federal do Paraná para a rede e-Tec Brasil, 2013.

NEGRÃO, L. L. L. *Caracterização da implementação do Lean Manufacturing na região amazônica: identificação do grau de adoção e seu efeito no desempenho empresarial*. 2016. 197fls. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, I. R., NERI, R. N., FERREIRA, R. J. P. Modelo para Avaliação da Produtividade em uma Indústria Siderúrgica de Corte e Dobra de Vergalhões com Infinitos SKUS. *Anais. XXVIII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção*. Online, 2021.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. *Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços*. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, Adriano; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 1, 2018.

PEREIRA, R. M.; MARQUES, H. R.; BOTELHO, L. H. F.; DE CASTRO, S. O. C.; VIEIRA, A. F. Administração de Produção e Operações: Evolução, Conceito e Interdisciplinaridade com as demais Áreas Funcionais. *Anais. XII Seget. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*. Tema: Otimização de Recursos e Desenvolvimento, 2015.

PIROLA, F., ZAMBETTI, M., CIMINI, C. Applying simulation for sustainable production scheduling: a case study in the textile industry. *Anais. 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)*, v. 54, p. 373-378, 2021.

REWERS; P.; TROJANOWSKA, J.; CHABOWSKI, P. Tools and methods of Lean Manufacturing - a literature review. Technological forum. Department of Manufacturing Technology. Faculty of Mechanical Engineering. Czech Technical University in Prague. *Technická*, v. 4, n.166, 2016.

RODRIGUEZ, X.A., REGUEIRO, R. M., DOLDAN, X.R. Analysis of productivity in the Spanish wind industry. *Renewable & sustainable energy reviews*, v.118, 2020.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A; LIMA, T. M.; SANTOS,B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v.4, n.1, p.111-124, 2018.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart, JHONSTON, Robert. *Administração de Produção*. 3ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUSA, Joseeldípio Mangueira de; CORRER, Ivan. Benefícios da Implantação do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) em uma linha de produção de uma empresa metalúrgica. *Anais. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*. Ponta Grossa, PR, 2019.

SOUZA, Marcela Carvalho Machado de; CARTAXO, Glauber Araujo Alencar. Aplicação do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) em uma indústria fornecedora de cabos umbilicais. *Anais. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. João Pessoa/PB, 2016.

SUJOVÁ, E.; VYSLOUŽILOVÁ, D.; ČIERNA, H.; BAMBURA, R. Simulation Models of Production Plants as a Tool for Implementation of the Digital Twin Concept into Production. *Manufacturing Technology*, v. 20, n. 4, 527-533, 2020.

TAI, S. I.; CHUAN, L. T.; AZIATI, A. H. N.; AHMAD, A. N. A. An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, v. 10, n.14, Special Issue, 2018.

TAMBURIS, O., ESPOSITO, C. Process mining as support to simulation modeling: A hospital-based case study. *Simulation modelling practice and theory*, v.104, 2020.

TUBINO, D. F. *Planejamento e controle da produção: teoria e prática*. São Paulo: Atlas, 2009.

VIANA, F. L. E. Indústria Siderúrgica. *Caderno Setorial ETENE Banco do Nordeste*. Ano 4, n. 92, 2019

VIEIRA, A.A.C., VELOSO, H., DIAS, L.M.S., PEREIRA, G.A.B., OLIVEIRA, J.A., CARVALHO, M.S. & FIGUEIREDO, M.C. Using Simulation to Model the Logistic Operations of a Company of the Cement Industry. *FME transactions*, v. 47, p. 683-690, 2019.