



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

JOÃO THIAGO DE GUIMARÃES ANCHIETA E ARAUJO CAMPOS

Modelagem de um framework do processo decisório da
gestão da variabilidade do tempo visando a melhoria do
desempenho operacional.



SALVADOR
2021

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA
CEP: 40.210-630
Telefone: (71) 3283-9800
E-mail: pei@ufba.br
Home page: <http://www.pei.ufba.br>



JOÃO THIAGO DE GUIMARÃES ANCHIETA E ARAUJO CAMPOS

**Modelagem de um framework do processo
decisório da gestão da variabilidade do tempo
visando a melhoria do desempenho operacional**

Salvador

Janeiro 2021

JOÃO THIAGO DE GUIMARÃES ANCHIETA E ARAUJO CAMPOS

**Modelagem de um framework do processo decisório da
gestão da variabilidade do tempo visando a melhoria do
desempenho operacional**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientador: Francisco Gaudêncio Mendonça Freires

Coorientador: Adonias Magdiel Silva Ferreira

Salvador

Janeiro 2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

de Guimarães Anchieta e Araujo Campos, João Thiago
Modelagem de um framework do processo decisório da
gestão da variabilidade do tempo visando a melhoria
do desempenho operacional / João Thiago de Guimarães
Anchieta e Araujo Campos. -- Salvador, 2021.
133 f.

Orientador: Francisco Gaudêncio Mendonça Freires.
Coorientador: Adonias Magdiel Silva Ferreira.
Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial) -- Universidade Federal da
Bahia, Departamento de Engenharia Química, 2021.

1. Gestão da variabilidade do tempo. 2. Engenharia
de operações. 3. Tempo de operação. 4. Sistema de
suporte a decisão. I. Mendonça Freires, Francisco
Gaudêncio. II. Silva Ferreira, Adonias Magdiel. III.
Título.

Modelagem de um framework do processo decisório da gestão da variabilidade do tempo visando a melhoria do desempenho operacional

JOÃO THIAGO DE GUIMARÃES ANCHIETA E ARAUJO CAMPOS

Tese submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:



Prof. Dr. Francisco Gaudêncio Mendonça Freires
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade do Porto, Portugal, 2007



Prof. Dr. Adonias Magdiel Silva Ferreira
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2015



Prof. Dr. Angelo Marcio Oliveira Sant'Anna
Doutor em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2009



Prof. Dr.-Ing. Enzo Morosini Frazzon

Prof. Dr. Enzo Morosini Frazzon
Doutor em Engenharia de Produção, pela Universität Bremen, Alemanha, 2009



Prof. Dr. Helder Gomes Costa
Doutor em Engenharia Mecânica, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 1994

Salvador, BA - BRASIL
fevereiro/2020

Dedico não somente este trabalho mas todo o conhecimento que tive para chegar até aqui. Somente eles sabem como comecei, por onde passei e aonde eu quis chegar. Aos meus pais, Edmundo de Araujo Campos (in memorian) e Célia Maria Guimarães Anchieta (in memorian).

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais que hoje moram com Deus e me acompanharam durante todos esses anos dando todo o apoio e demonstrando o orgulho da minha caminhada.

Agradeço a minha família, em especial André e Edinho pelo apoio durante todos esse período de desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores Francisco Gaudêncio Mendonça Freires e Adonias Magdiel da Silva Ferreira pela orientação para a realização deste trabalho.

*“Não se esforce para fazer nada,
faça somente o que desejas,
Se faz com amor, não saberás o que é esforço:
se faz com paixão, todo dia valerá a pena.*

Resumo

A evolução das filosofias de gestão ocorreram com base na necessidade de atingir níveis de alta performance da eficácia e eficiência de sistemas produtivos de bens ou serviços. Especificamente para a gestão operacional, as mudanças na gestão estratégica assim como as interferências devido a eventos não esperados afetam diretamente a qualidade produtiva e, por consequência, gera distúrbios nos processos resultando em impactos negativos no planejamento, controle e programação da produção. Entre outros parâmetros da performance da gestão operacional, a variabilidade do tempo de produção gera distúrbios no sistema produtivo, apresentando problemas como desbalanceamento de linha de produção, defeitos nos produtos, quebra de equipamentos, entre outros. Esse estudo analisa o impacto da variabilidade do tempo sobre a performance da organização, inserindo no modelo de tomada de decisão um *framework* que analisa a variabilidade do tempo de produção e o impacto sobre as dimensões de desempenho da organização. Para tal, é proposto um sistema de coleta, organização, análise e interpretação de tempos de produção para a gestão da variabilidade do tempo, integrando à uma análise do impacto da variabilidade sobre as dimensões de desempenho econômico, social e ambiental. O *framework* foi desenvolvido com base em uma análise exploratória de dados para a caracterização estatística dos tempos de processos, controle da variabilidade de processos por meio de carta de controle e, por fim, análise do impacto sobre as dimensões de desempenho utilizando modelos qualitativos e quantitativos. A análise da variabilidade do tempo é apresentada em tempo real por meio de cartas de controle, identificando a variabilidade do processo e, posteriormente, o impacto sobre as dimensões de desempenho analisadas. Ademais, um indicador de desempenho é apresentado para todos os processos analisados. Na primeira aplicação, o sistema de apoio à decisão demonstra que a gestão da variabilidade do tempo tem maior impacto sobre a dimensão de produtividade, com pouco impacto sobre a dimensão qualidade. Na segunda aplicação, referente à sustentabilidade, o impacto econômico prevalece sobre as dimensões sociais e ambientais. O impacto na dimensão social apresentou grande variabilidade, ou seja, o modelo de tomada de decisão de gestores operacionais gera grandes variações na dimensão social resultando em impactos negativos para a organização.

Palavras-chave: Variabilidade do tempo; Gestão Operacional; *trade-off*; dimensões de desempenho; sistemas de apoio a decisão.

Abstract

The management philosophies evolution occurred based on the need to achieve high performance of effectiveness and efficiency of productive systems of goods or services. Specifically for operational management, changes in strategic management as well as interferences due to unexpected events or needs for rapid changes in the operational context directly affect production quality and, consequently, generate disturbances in processes resulting in a negative impact on planning, control and production scheduling. Among other parameters that impact operational management, the production time variability generates a greater impact to achieve the expected results. Time variability causes disturbances in production systems, presenting problems such as unbalance of the production line, product defects, equipment breakdown, among others. This study proposes to analyze the impact of time variability on the organization's performance, inserting in the decision-making model a *framework* that analyzes in real time the variability of production time and the impact on the organization's performance dimensions . A system for collecting, organizing, analyzing and interpreting the variability of production time is proposed, integrating an analysis of the impact of variability on the dimensions of economic, social and environmental performance. The framework was developed based on an exploratory data analysis for the statistical characterization of process, process variability control through a control chart method and, finally, analysis of the impact on performance dimensions. The analysis of the impact of time variability on performance dimensions is carried out in two stages of validation. The analysis of time variability is presented in real time by means of control charts, identifying the variability of the process and, subsequently, the impact on the performance dimensions analyzed. In addition, a collaborative performance indicator is presented for all analyzed processes. In the first validation, the support system demonstrates that the management of time variability has a greater impact on the productivity dimension, with little impact on the quality dimension. In the second validation, referring to sustainability, the economic impact prevails over the social and environmental dimensions. The impact on the social dimension showed great variability, that is, the decision-making model of operational managers generates great variations in the social dimension resulting in negative results for the organization.

Keywords: Time variability; Operations Management; trade-off; performance dimension; decision-support system.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Método para a desenvolvimento da pesquisa e desenvolvimento do modelo proposto.	38
Figura 2 – Modelo conceitual da gestão operacional.	42
Figura 3 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.	43
Figura 4 – Modelo conceitual proposto do processo decisório na gestão operacional.	44
Figura 5 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.	53
Figura 6 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.	54
Figura 7 – Relação entre os artigos.	60
Figura 8 – Quantidade de publicações por ano sobre o "tempo de produção"e "gestão operacional".	66
Figura 9 – Quantidade de publicações por ano sobre o tema "tempo de produção"e "gestão operacional".	67
Figura 10 – Autores mais citados.	68
Figura 11 – Análise das co-citações do artigos selecionados.	68
Figura 12 – Mapa conceitual de co-ocorrências de palavras-chave.	69
Figura 13 – Traditional decision structure.	81
Figura 14 – Trade-off decision structure involving performance dimensions.	82
Figura 15 – Operator decisions assisted by TVM.	83
Figura 16 – Proposed framework of Time Variability Management.	83
Figura 17 – Process map of computer component assembly.	87
Figura 18 – Petri net of computer components assembly.	89
Figura 19 – Histograms of workstation process time: a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 7.	89
Figura 20 – Petri net simulation.	91
Figura 21 – Activity times for each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6	92
Figura 22 – Idle times for each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6	92
Figura 23 – Trade-off factor of each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6	93
Figura 24 – Trade-off analysis of each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6	94
Figura 25 – Proposed framework of Time Variability Management.	101
Figura 26 – Analytical Hierarchy Process structure for sustainability performance.	104
Figura 27 – Drugs separation process map.	106

Figura 28 – Drug separation process map.	106
Figura 29 – Petri net simulation using GPENSIM module.	108
Figura 30 – Control chart of idle time in task 1 (<i>tv2</i>).	109
Figura 31 – Control chart of activity time in task 1 (<i>tv2</i>).	110
Figura 32 – Control chart of idle time in task 2 (<i>tv3</i>).	110
Figura 33 – Control chart of Activity time in task 2 (<i>tv3</i>).	111
Figura 34 – Trade-off Analysis of sustainability performance in task 1 (<i>tv2</i>).	112
Figura 35 – Trade-off Analysis of sustainability performance in task 2 (<i>tv3</i>).	112

Lista de quadros

Quadro 1 – Autores norteadores da pesquisa realizada.	34
Quadro 2 – Escore do trade-off.	49
Quadro 3 – Estrutura da tabela do tempo de ociosidade do operador.	57
Quadro 4 – Estrutura da tabela dos escores de trade-off.	57
Quadro 5 – Estrutura da tabela de CKPI.	58
Quadro 6 – Relação de periódicos com mais publicações sob o tema de "tempo de produção" e "gestão operacional".	66
Quadro 7 – Trade-off scores.	86
Quadro 8 – Description table for places.	88
Quadro 9 – Description table for transitions.	88
Quadro 10 – Description table for places.	106
Quadro 11 – Description table for transitions.	107

Lista de tabelas

Tabela 1 – Descriptive statistics of each activity time in each workstation of the process.	88
Tabela 2 – Activity-time probability distribution parameters of each workstation. . .	90
Tabela 3 – Idle-time probability distribution parameters of each workstation. . . .	90
Tabela 4 – Trade-off analysis parameters.	94
Tabela 5 – Trade-off scores.	105
Tabela 6 – Operator time variability reduction consistency ratio.	105
Tabela 7 – Activity-time probability distribution parameters.	107
Tabela 8 – Idle time probability distribution parameters.	107
Tabela 9 – Trade-off analysis parameters.	113

Lista de abreviaturas e siglas

ME	Manufatura enxuta
SS	Seis Sigma
GQT	Gestão da qualidade total
GMT	Gestão da manutenção total
GVT	Gestão da variabilidade do tempo
TVMF	Fator de gestão da variabilidade do tempo
AHP	Análise hierárquica de processos
GVT	Gestão da variabilidade do tempo
TVMF	Fator de gestão da variabilidade do tempo
DD1	Dimensão de desempenho 1
DD2	Dimensão de desempenho 2
DD3	Dimensão de desempenho 3
MCDD1xATOs	Modelo matemático com resultante constante para aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 1.
MCDD1xRTOs	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 1.
MCDD1xATO	Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 1.
MCDD1xRTO	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 1.
MCDD2xATOs	Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 2.
MCDD2xRTOs	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 2.
MCDD2xATO	Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 2.

MCDD2xRTO	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 2.
MCDD3xATOs	Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 3.
MCDD3xRTOs	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 3.
MCDD3xATO	Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 3.
MCDD3xRTO	Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 3.
MAED	Módulo de análise exploratória de dados
MMMP	Módulo de Mapeamento e modelagem do processo
MGVT	Módulo de gestão da variabilidade do tempo
BDTC	Base de dados dos tempos coletados
BDTS	Base de dados dos tempos simulados.
APDF	Arquivo de configuração do mapa de processo.
AM	: Arquivo de modelagem.
APP	Arquivo de funções <i>pré</i> e <i>post</i>
AMTO	Arquivos do modelo <i>trade-off</i>
BDETO	Base de dados dos escores de <i>trade-off</i>

Lista de símbolos

χ	Letra Chi
θ	Letra theta
σ	Letra sigma

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Contexto Introdutório	27
1.2	Delimitações da pesquisa e problematização	30
1.3	Objetivos	31
1.3.1	Objetivo geral	31
1.3.2	Objetivos específicos	31
1.4	Relevância e contribuição	32
1.5	Estrutura da tese	33
2	METODOLOGIA	37
2.1	Caracterização da pesquisa	37
2.2	Modelagem do Framework	38
2.2.1	Aspectos do framework	38
2.2.2	Modelagem conceitual	39
2.2.3	Modelagem matemática	45
2.2.3.1	Análise exploratória de dados	45
2.2.3.2	Análise de carta de controle	47
2.2.3.3	Gestão da variabilidade do tempo	48
2.2.4	Modelagem computacional	52
3	COLETÂNEA DE ARTIGOS	59
3.1	Organização e articulação dos artigos	59
3.2	Artigo 01 - Gestão operacional e variabilidade do tempo: revisão bibliométrica e perspectivas futuras.	62
3.2.1	Introdução	62
3.2.2	Metodologia	64
3.2.3	Resultados e discussão	65
3.2.3.1	Estudo bibliométrico	65
3.2.3.2	Análise dos campos conceituais	66
3.2.3.3	Pesquisas futuras	74
3.2.4	Conclusão	74
3.3	Artigo 02 - Gestão da variabilidade do tempo e análise de <i>trade-off</i> da eficiência da qualidade, produtividade e manutenção.	76
3.3.1	Introduction	76
3.3.1.1	Operational performance considerations	77
3.3.1.2	Trade-off and unbalanced systems relationship	78

3.3.1.3	Time variability management (TVM)	79
3.3.2	Framework proposal	80
3.3.2.1	Process characterization	83
3.3.2.2	Time variability management	85
3.3.2.3	Trade-off performance analysis	86
3.3.3	Results and discussion	87
3.3.3.1	Process characterisation	87
3.3.3.2	Time variability management	88
3.3.4	Conclusions	94
3.4	Artigo 03 - Decisões operacionais e sustentabilidade: Estudo de caso de um centro de distribuição de medicamentos no Brasil. . . .	96
3.4.1	Introduction	96
3.4.2	Proposed Framework	100
3.4.2.1	Exploratory Data Analysis	100
3.4.2.2	Control Chart and Time Variability Analysis	102
3.4.3	TVM and Sustainability Trade-Off Analysis	103
3.4.4	Framework Validation and Case Study	105
3.4.4.1	Process Characterization	105
3.4.4.2	Process Simulation and Scenario Analysis	108
3.4.5	Conclusions	113
4	CONCLUSÃO	115
	REFERÊNCIAS	119

1 Introdução

1.1 Contexto Introdutório

No contexto histórico, os sistemas de gestão das organizações públicas e privadas sofreram diversas alterações para aumentar a eficiência da prestação de serviços ou fabricação de produtos. Além do avanço tecnológico, o mercado consumidor se tornou mais ativo no processo decisório dos gestores em todas as etapas do sistema produtivo.

Mais especificamente em empresas privadas, a estrutura organizacional foi impactada principalmente pela abordagem teórica e prática de filosofias de gestão. Enquanto a busca por maior faturamento era o objetivo final das organizações, conceitos teóricos aplicados mostraram que a busca por maior performance empresarial está contido em sistemas empresariais mais amplo do que os elementos internos da organização. Nesse sentido, o conceito de eficácia, eficiência e efetividade da produção de bens ou serviços se tornaram mais abrangente e aplicado em sistemas produtivos reais.

Considerando os níveis decisórios operacional, tático e estratégico, a gestão de operações tem um alto grau de sensibilidade às decisões dos gestores das organizações. Tradicionalmente, as empresas propõem decisões *top-down*, sendo que as decisões estratégicas direcionam o desempenho de todos os níveis da organização. Nesse sentido, a gestão operacional tem alta sensibilidade à todas as decisões da organização, sendo necessário uma resposta rápida às interferências no processo para garantir a eficácia da continuidade da produção.

Nos dias atuais, o processo de tomada de decisão deve considerar não somente os elementos internos de um sistema produtivo, mas também a integração com outros sistemas que direcionam a organização para maior eficiência. Essa prática se consolidou com a integração das filosofias de gestão e a cadeia de suprimentos. Ademais, os esforços para tornar as decisões mais assertivas são convergentes ao fluxo da informação e sua correta interpretação para a tomada de decisão.

Para a gestão operacional, definir corretamente os parâmetros no processo decisório se torna essencial ao modelo de tomada de decisão. Os parâmetros geralmente são associados à indicadores de desempenho, estes que são utilizados como referência aos resultados das decisões executadas. Contudo, os indicadores de desempenho devem ser alimentados por informações devidamente coletadas e analisadas, pois o fornecimento de informação incorreta gerará impacto em toda a organização. Para tal, a integração do sistema de informação com os processos produtivos se torna essencial para à tomada de decisão e, por consequência, a busca da eficiência da produção.

Logo, a gestão dos parâmetros operacionais são comuns a todas as filosofias de gestão. Numa abordagem mais teórica, entende-se que a variabilidade dos indicadores de desempenho e as respostas às medições desses parâmetros é um elemento que deve ser controlado e minimizado.

Modelos conceituais de gestão colaboram para esta proposta. A redução da variabilidade além de impactar no desempenho da organização, ela se torna intrínseco ao sistema de gestão da informação e no modelo de tomada de decisão. Nesse sentido, sistemas de tomada de decisão são propostos para auxiliar na busca de maior eficiência do processo produtivo. Esses modelos são integrados às filosofias de gestão, propõem o uso de métodos e ferramentas, e auxiliam gestores na busca da excelência operacional.

As filosofias de gestão amplamente utilizadas como Manufatura Enxuta (ME), Seis Sigma (SS), Gestão da Qualidade Total (GQT) e Gestão da Manutenção total (GMT) buscam de forma contínua a melhoria dos processos por meio da redução da variabilidade dos processos. De acordo com [Womack J. e Ross \(1990\)](#), a ME é definida como um conjunto de práticas que tem como objetivo eliminar desperdícios. Especificamente sobre variabilidade, [Hines, Holweg e Rich \(2004\)](#) e [Bhamu e Sangwan \(2014\)](#) fazem uma revisão crítica sobre o pensamento enxuto e enfatiza que além da redução de desperdícios, é necessário a habilidade de gerir a variabilidade dos parâmetros em estudo. [Moyano-Fuentes e Sacristán-Díaz \(2012\)](#) também analisam o pensamento enxuto porém de forma mais precisa, afirmando que a redução de desperdício está associado com a redução da variabilidade. Logo, o estudo da variabilidade no pensamento enxuto é necessário para a redução de desperdícios. Por exemplo, [Uz-Zaman \(2013\)](#) propõe uma metodologia para a implantação da filosofia enxuta, considerando que a eliminação de desperdícios é resultado da redução ou minimização da variabilidade. [Belekoukias, Garza-Reyes e Kumar \(2014\)](#) analisam o impacto das filosofias *lean* na performance operacional, ressaltando a redução da variabilidade e associando, por exemplo, à filosofia *Just-in-Time*.

O SS é definido como uma abordagem quantitativa para a melhoria do produto e processo ([HAHN; DOGANAKSOY; HOERL, 2000; SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010](#)). O SS também é definido como uma filosofia com o objetivo da redução da variabilidade. [Antony, Kumar e Madu \(2005\)](#) e [Thomas, Barton e Chuke-Okafor \(2008\)](#) apresentam a aplicação do SS em pequenas e médias empresas, destacando os resultados positivos do uso dos métodos e ferramentas para a redução da variabilidade de processos.

Pode-se associar também a redução da variabilidade com a GQT. Por exemplo, [Schroeder et al. \(2008\)](#) analisam os métodos e ferramentas aplicados no SS e sua relação com a gestão da qualidade. Essa relação entre as filosofias mostra que a redução da variabilidade é um objetivo em comum e, por consequência, deve-se ser inserido nos modelos de gestão utilizado em qualquer organização. De acordo com [Flynn, Schroeder e Sakakibara \(2007\)](#), a GQT é uma abordagem de melhoria da qualidade de bens e serviços.

Os autores apresentam práticas do GTQ em três categorias: controle estatístico de processo, desenho do produto e foco no cliente. Apesar do autor informar que são práticas exclusivas desta filosofia, atualmente elas são comuns a todas as filosofias de gestão quando se aborda a redução da variabilidade. [Pont, Furlan e Vinelli \(2008\)](#) reforçam esta prática comum, apresentando estudos sobre a relação entre filosofias de gestão que aplicam o princípio enxuto. Para complementar essa relação entre as filosofias, [Shah e Ward \(2007\)](#) apresentam um estudo para o desenvolvimento de métodos de medições na produção enxuta, analisando a variabilidade por meio de uma revisão de literatura sobre o tema.

Assim, a integração das filosofias de gestão é um tema amplamente estudado e apresenta benefícios às organizações. Além de apresentar ganhos efetivos para organização, as filosofias de gestão apresentadas utilizam de métodos e ferramentas para a redução da variabilidade que, por consequência, gera valor agregado à produção e reduz o desperdício do uso de recursos no sistema produtivo.

Contudo, devido ao grande número de parâmetros que impactam no sistema, a variabilidade sempre vai existir e ferramentas para corrigir e prever os impactos sobre o processo também são propostos. A previsão dos impactos é amplamente estudada e métodos consolidados são utilizados no dia a dia da gestão tática e estratégica. Para tal, a utilização de métodos preditivos para aumento da eficiência do processo é uma alternativa para minimizar os impactos no sistema produtivo. As ações preditivas vão além da previsão, elas propõem soluções antes da existência do problema, permitindo analisar a variabilidade inerente ao processo e utilizá-la para a análise das informações e, posteriormente, na tomada de decisão. Um sistema preditivo necessita acompanhar todo o processo e analisar as saídas quanto à mensuração dos parâmetros analisados. Para tal, além do uso de um sistema de informação adequado, a inserção de tecnologias em relação à coleta, organização, análise e interpretação dos dados é de suma importância para auxiliar na previsão e proposta de solução de problemas. Ademais, diante da resposta rápida de processos produtivos, o auxílio na tomada de decisão também deve ter respostas imediatas, inserindo um sistema de auxílio na tomada de decisão em tempo real em todas as operações.

Entre inúmeros parâmetros que constituem a análise de tarefas operacionais de um sistema de manufatura, o tempo de produção é fator limitador ao nível de eficiência da organização. As filosofias de gestão buscam entregar o produto de forma rápida e eficiente ao seu cliente, considerando inúmeros parâmetros que impactam no tempo de produção, e por consequência aumentam a variabilidade do tempo de produção do sistema de manufatura e entrega do produto.

Contudo, apesar do estudo e aplicação de métodos e ferramentas para a redução da variabilidade do tempo de produção ser amplamente abordado em pesquisas, como, por exemplo, os estudos apresentados em [Prajogo et al. \(2018\)](#), [Prajapat e Tiwari \(2016\)](#) e

Junior et al. (2019), e aplicados por gestores, entende-se que a variabilidade do tempo é um problema que deve ser controlado periodicamente, avaliando o impacto na organização. Para tal, o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a coleta, organização, análise e interpretação da variabilidade do tempo se torna essencial aos gestores em todos os níveis de tomada de decisão. Nesse sentido, diferente dos autores apresentados, este estudo analisa a variabilidade do tempo como parâmetro para a tomada de decisão, buscando utilizar a variabilidade inerente ao processo para minimizar os impactos negativos no desempenho da organização.

Diante da importância do controle da variabilidade do tempo e do impacto em todo o processo produtivo, a sistematização do controle da variabilidade com modelos decisórios em sistemas preditivos é um campo de pesquisa necessário para agregar às filosofias de gestão novos métodos e ferramentas que analisam a variabilidade do processo e propõem soluções para o aumento da eficiência do sistema.

1.2 Delimitações da pesquisa e problematização

Esta pesquisa tem como foco o estudo da variabilidade do tempo em tarefas operacionais de sistemas de manufatura e logística. A literatura apresenta uma abordagem técnica e teórica sobre o uso de ferramentas e métodos para a redução da variabilidade do tempo como meio de otimização e melhoria dos sistemas produtivos. Contudo, o estudo de métodos integrados que analisam o impacto da tomada de decisão sobre a eficiência, eficácia e efetividade do processo necessita de maior aprofundamento. A compreensão do impacto da tomada de decisão em relação à todas as dimensões de desempenho e não exclusivamente a uma única dimensão de desempenho também é necessária. A integração dos métodos e ferramentas com um sistema de apoio a decisão resulta numa análise objetiva dos conflitos na tomada de decisão e permite uma visão geral do desempenho da organização. Para tal, este estudo contribui de forma incremental à pesquisa sobre variabilidade do tempo e performance operacional, com base nos problemas apresentados pelos autores em estudo e analisados de forma transversal entre os temas de pesquisa. Nesse sentido, foi identificado diversos problemas em relação a variabilidade do tempo em processos operacionais, tais que:

a) O tema variabilidade do tempo de processo abrange uma ampla área de pesquisa. As pesquisas na área de gestão operacional se concentram em métodos para a redução e eliminação da variabilidade. A literatura apresenta diversos problemas da variabilidade do tempo em processos tais que gargalos, estoque intermediário, aumento de defeitos em produtos ou sub-produtos, quebra de máquinas, entre outros.

b) A variabilidade do tempo gera sistemas desbalanceados. Entende-se que o balanceamento de sistemas reduz a variabilidade do processo, contudo, não há uma

comprovação adequada em relação ao impacto em toda a organização, mas somente em problemas específicos. Logo, é necessário uma abordagem integral do desempenho dos processos e o conflito na otimização e melhoria dos processos.

c) Apesar de gestores considerarem de forma implícita o *trade-off* na tomada de decisão, as ferramentas utilizadas não avaliam o desempenho de toda a organização. Nesse sentido, a subjetividade da tomada de decisão prevalece sobre os resultados apresentados no uso de ferramentas para a análise de processos, contudo não garante maior eficiência na tomada de decisão.

d) No nível operacional de tomada de decisão, a abordagem subjetiva é inerente ao processo devido à relação homem/máquina. Métodos quantitativos são apresentados e validados, porém a inserção de parâmetros qualitativos, e principalmente a avaliação subjetiva de processos não são considerados devido a complexidade de integração de métodos quantitativos e qualitativos, ou aplicação de métodos híbridos.

e) A literatura apresenta métodos de redução da variabilidade do tempo porém não mensura o impacto do aumento da variabilidade em relação à organização. Apesar da compreensão de gestores e pesquisadores sobre a necessidade de redução, devido a existência da variabilidade, gerir o risco de aumento da variabilidade é necessário para apoiar o gestor na tomada de decisão.

Logo, a seguinte questão foi definida para nortear esta pesquisa:

Qual o impacto da variabilidade do tempo de produção no desempenho da gestão operacional?

Nesse sentido, foi elaborado a seguinte hipótese de pesquisa:

H_0 - A integração de métodos e ferramentas ao processo decisório de gestores operacionais permite uma concepção de um modelo mais condizente com a realidade para a tomada de decisão e uma melhor gestão da variabilidade do tempo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa propõe um modelo decisório do impacto da variabilidade do tempo no desempenho operacional de sistemas produtivos discretos.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Identificar as áreas que norteiam o estudo da análise da variabilidade do tempo na gestão operacional.
- Analisar e integrar os métodos e ferramentas de gestão de variabilidade do tempo por meio de um modelo de decisão qualitativo.
- Analisar o impacto do *trade-off* sobre a performance organizacional por meio da aplicação do modelo de auxílio na tomada de decisão quali-quantitativo.

1.4 Relevância e contribuição

A integração de métodos e ferramentas em sistemas computacionais abrange diversas vantagens ao suporte à tomada de decisão. Para auxiliar gestores à uma tomada de decisão efetiva, deve-se sistematizar as etapas de coleta, organização, análise e interpretação dos dados provenientes dos processos. Para tal, esta pesquisa apresenta alta relevância nas áreas de gestão, técnica e científica para a gestão operacional de sistemas de manufatura.

Na área técnica, um modelo computacional é apresentado para a integração de métodos e ferramentas ao processo decisório dos tomadores de decisão. A estruturação e criação de um *framework* por meio da modelagem conceitual, matemática e computacional de ferramentas de suporte a decisão é de suma importância para a viabilidade tecnológica do uso do modelo proposto. Especificamente para a gestão da variabilidade do tempo, a proposta de um *framework* que sistematiza as etapas inerentes a coleta, organização, análise e interpretação dos tempos de produção, e integrado com o impacto sobre a performance da organização, se torna relevante tecnicamente pois possibilita a inserção de métodos quantitativos e qualitativos por meio da relação sistêmica entre os parâmetros analisados e modelo de tomada de decisão. Chavez et al. (2015) e Prajogo e Olhager (2012) ressaltam da necessidade de integração para análise da performance, sendo que esse estudo apresenta uma proposta de integração. De forma mais ampla, a tomada de decisão analisando a performance de toda a organização também é apresentada como requisito no aumento da eficiência do processo decisório (PROEHL, 1996; EMERY, 2009; SANTA et al., 2010; POPOLI, 2019; REGALIZA et al., 2016). Diante do exposto, uma proposta de um *framework* é apresentado, permitindo a sua adaptação quanto às necessidades específicas de diversos tipos de manufatura e análise de variabilidade em atividades operacionais.

Na área de gestão, o auxílio técnico de uma ferramenta baseada em um *framework* flexível quanto a parâmetros e ferramentas de análise de desempenho permite não somente à gestores na busca da eficiência do processo produtivo, mas também identificar falhas ao processo decisório devido a parâmetros subjetivos e que não foram considerados para a avaliação do desempenho da organização. Sartal et al. (2017) argumentam que gestores não sistematizam a tomada de decisão quanto à performance da organização. Nesse sentido, este estudo propõe a integração de métodos e ferramentas que auxiliam na gestão à análise de

desempenho de toda a organização. Um *framework* é proposto nesse estudo, onde explicita todo o fluxo de informação utilizado para a tomada de decisão e que está associado à tomada de decisão de todos os envolvidos no processos, e não exclusivamente aos gestores. Ademais, a proposta de integração dos fluxos de informação ao processo de tomada de decisão é de grande valia para a análise tácita dos envolvidos e principalmente para uma avaliação do desempenho da organização. Uma abordagem integrada ao *trade-off* do processo decisório amplia o horizonte de tomada de decisão e permite maior assertividade das decisões devido ao conhecimento tácito apresentado pelos usuários. Além de gerenciar a variabilidade do tempo, o *framework* permite aos gestores inserirem no modelo de decisão fatores subjetivos como fator que colabora para o desempenho da organização.

Na área científica, uma revisão sistemática da literatura sobre o tema é apresentada no capítulo III e mostra o direcionamento da pesquisa sob o tema de variabilidade do tempo na área de gestão operacional. O quadro 1 apresenta os autores que norteiam esta pesquisa e suas contribuições. As pesquisas apresentadas consolidam métodos e direcionamento de pesquisas em grandes áreas da otimização do tempo de produção e seus impactos na organização. Os métodos apresentados norteiam uma nova abordagem que é avaliada nesta pesquisa: ampliar o conceito de redução de variabilidade do tempo para a gestão da variabilidade do tempo. Apesar da área de análise e redução de variabilidade ser consolidada, apresentar o impacto da variabilidade do tempo sobre o desempenho da organização é um campo de estudo a ser explorado.

1.5 Estrutura da tese

A organização do estudo está dividido em 4 capítulos. O primeiro capítulo de introdução apresenta a contextualização da pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a relevância e contribuição da pesquisa nas áreas técnicas, de gestão e científica. Apresenta-se também a relevância da pesquisa e sua contribuição para a comunidade científica e empresarial.

O segundo capítulo sistematiza a metodologia do estudo. Foi definido o delineamento metodológico para a caracterização da pesquisa realizada e a modelagem do *framework*. A modelagem é dividida em três partes: modelagem conceitual sobre a estrutura e etapas de execução do *framework*, modelagem matemática apresentando os métodos estatísticos e matemáticos, e por fim a modelagem computacional apresentando a estrutura funcional, estrutura da base de dados e protocolos de comunicação utilizados.

O terceiro capítulo apresenta uma coletânea de artigos que direciona esta pesquisa. Os artigos estão relacionados da seguinte forma: o primeiro artigo apresenta as principais pesquisas na área de estudo de tempos e movimentos e otimização de processos operacionais. A revisão de literatura realizada foi utilizada como base para nortear a pesquisa,

Quadro 1 – Autores norteadores da pesquisa realizada.

Autores	Objetivo geral	Método aplicado	Ferramenta utilizada
Stalk (1998); Hum e Sim (1996)	Modelos de gestão baseado no tempo	Revisão de literatura	Pesquisa bibliográfica
Baldwin et al (1991); Asgari et al (2016); Aslam e Amos(2010); Fagundes et al (2020)	Avaliação de modelos de gestão em geral e cadeia de suprimentos	Revisão de literatura	Pesquisa bibliométrica
Eghthesadifard et al (2020); Li et al (2020);Delice et al (2016); Kim et al (2000); Li et al (2020); Baykasoglu e Derehi (2008); Simaria e Vilarinho (2009); Danial et al (2013); Özcan et al (2010); Chutima et al (2012); Delice et al (2014); Murat e Ahmet (2013); Fariborz et al (2007);	Otimização de linha de montagem	Revisão de literatura, heurística e meta-heurística	Pesquisa bibliográfica, algoritmo genético, algoritmo de anelamento
Lei (2009); HGaral et al (2007); Cochran et al (2003); Chang et al (2005); Azizoglu et al (2003); Chen (2007); T'kindt (2001); Tamer (2009)	Otimização de sequenciamento de máquinas	Heurístico	Algoritmo genético
Neely (1995); Shepherd e Guenter (2006); Irfani et al (2019); Goapl e Takkar (2012)	Análise de mensuração de sistemas de mensuração de performance organizacional	Revisão de literatura	Pesquisa bibliográfica
Esmaeilian et al (2016); Tortorella e Fetterman (2017); Oztermel e Gurserv (2020); Piccarozi et al (2018)	Análise de sistemas de manufatura e industrial 4.0	Revisão de literatura e pesquisa aplicada tipo <i>survey</i>	Pesquisa bibliográfica

Fonte: Autor.

identificando as necessidades científicas em relação ao uso e desenvolvimento de métodos e

ferramentas na área de estudo da variabilidade do tempo de produção. O segundo artigo, com base nas necessidades apresentadas no primeiro artigo, faz a aplicação do modelo proposto utilizando método constante e qualitativo para auxílio na tomada de decisão. Por fim, o terceiro artigo apresenta a flexibilidade do *framework* para a inserção de modelos de tomada de decisão, utilizando um modelo quali-quantitativo.

Por fim, o quarto capítulo apresenta a conclusão da pesquisa, as limitações técnicas e científicas e propostas de trabalhos futuros.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da pesquisa

A elaboração e/ou organização do trabalho é uma etapa necessária para o planejamento da pesquisa. De acordo com [Lakatos e Marconi \(1992\)](#), a pesquisa permite descobrir novos fatos, dados, relações ou leis em qualquer campo de conhecimento. Para tal, esta pesquisa é caracterizada:

Quanto a abordagem:

Quanto a abordagem, a pesquisa nesse estudo é do tipo pesquisa quantitativa.

Quanto a natureza:

A natureza é de pesquisa aplicada, referindo à aplicação do *framework* em situações reais de sistemas produtivos discretos.

Quanto aos objetivos:

A pesquisa é caracterizada como pesquisa exploratória e descritiva. A primeira parte referente ao desenvolvimento do *framework* foi com base em estudo e análise de artigos científicos publicados em periódicos em revista da área de gestão de operações, cadeia de suprimentos e sustentabilidade. A segunda parte referente à aplicação do *framework* é caracterizada como descritiva analisando os dados e impactos do uso do *framework* no processo decisório.

Quanto aos procedimentos:

Os procedimentos utilizados se caracterizam como pesquisa bibliográfica para a definição dos problemas, hipótese e modelo conceitual. Posteriormente foi realizado uma pesquisa de campo para a coleta de dados quantitativos e qualitativos e aplicados em 2 estudos de casos.

Para o desenvolvimento do estudo, o método de pesquisa e desenvolvimento do modelo proposto nesse estudo é dividido em etapas e apresentado na figura 1. Inicialmente é realizado uma revisão de literatura para a identificação das áreas de concentração e campos conceituais que utilizam modelos decisórios em gestão operacional. Posteriormente um modelo exploratório de dados é proposto para a coleta e organização dos dados coletados. Na etapa de análise de carta de controle, a interpretação dos dados em relação aos processos em estudo e seu comportamento. Por fim é apresentado dois modelos de gestão da variabilidade do tempo utilizando métodos qualitativos e quantitativos.

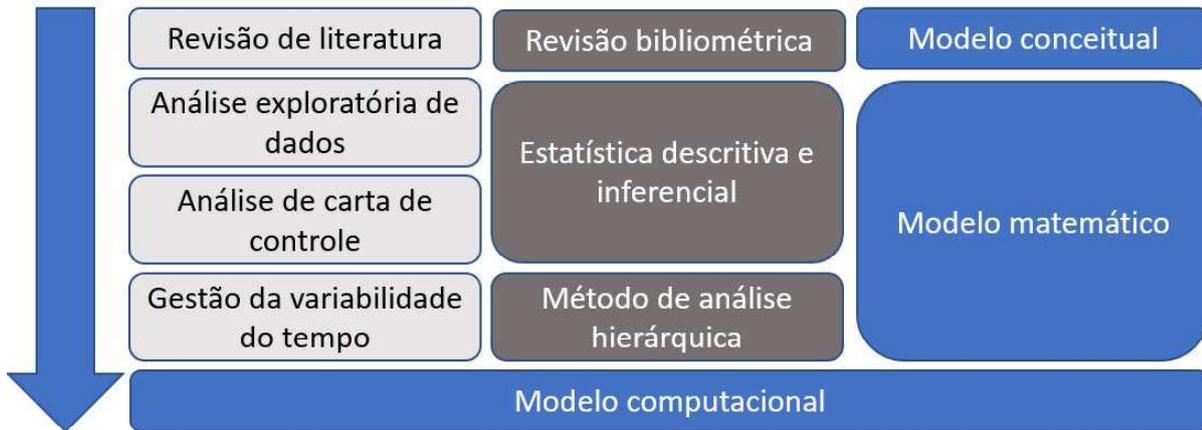


Figura 1 – Método para a desenvolvimento da pesquisa e desenvolvimento do modelo proposto.

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2 Modelagem do Framework

2.2.1 Aspectos do framework

A modelagem do *framework* é constituída de uma abordagem híbrida de métodos matemáticos, estatísticos e computacionais. O modelo conceitual permite ao gestor entender as etapas e o fluxo dos dados. Uma revisão sistemática da literatura permitiu identificar os temas que norteiam o estudo sobre variabilidade do tempo em gestão de operações, identificar as métricas de desempenho e métodos utilizados para a análise e gestão da variabilidade do tempo.

O modelo matemático apresenta a modelagem estatística descritiva e inferencial, a modelagem matemática e, a simulação para eventos discretos.

O modelo computacional apresenta a estruturação do fluxo de dados e funções, assim como a modelagem da base de dados utilizada.

O desenvolvimento de um *framework* segue etapas distintas quanto à análise de requisitos e aplicação do modelo proposto em situações reais. Esta pesquisa propõe a integração de métodos matemáticos e estatísticos tais que análise exploratória de dados, análise multicritério e simulação estocástica. Importante ressaltar que o *framework* proposto é flexível quanto aos métodos utilizados para analisar o impacto da variabilidade do tempo no desempenho da organização. Para tal, a utilização de métodos quantitativos, qualitativos e híbridos podem ser inseridos no modelo apresentado.

Com base no objetivo desta pesquisa e a revisão sistemática realizada, o *framework* oferece ao gestor uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão durante todas as etapas do processo, integrando-a a um modelo de análise de desempenho da organização.

2.2.2 Modelagem conceitual

A estrutura do modelo conceitual de análise da variabilidade do tempo tem como base duas vertentes: a gestão da variabilidade e o processo decisório. O modelo conceitual do *framework* foi realizado com base numa revisão de literatura sobre os modelos de tomada de decisão no nível operacional, identificando sua relação com o desempenho da organização.

Premissa 1: O modelo proposto permite ao usuário inserir qualquer método e ferramenta assim como flexibilizar a análise de desempenho e que atenda ao objetivo do usuário.

De acordo com Colledani et al. (2014), todas as atividades que envolvem o sistema produtivo deve ser considerado para o uso eficaz e eficiente dos recursos da organização. Especificamente no processo decisório dos gestores de uma organização, a relação entre o uso dos recursos disponíveis e o desempenho da organização ocorre pela análise das interações entre eles, e não somente pela avaliação do uso de recursos. Andersson e Bellgran (2015) ressaltam a necessidade da integração dos gestores com todas as dimensões de desempenho, definindo a necessidade de uma decisão sistêmica em todo o sistema produtivo e análise sobre a complexidade dos dados e impactos no desempenho da organização.

Logo, o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão deve considerar não somente as relações entre todos os elementos envolvidos à decisão do gestor, mas abordar todas as variáveis internas e externas a organização, com o intuito de avaliar os resultados obtidos e a relação de *trade-off* entre as dimensões de desempenho. A complexidade de sistemas de apoio a decisão é apresentada nesse estudo por meio de revisão de literatura e propostas de planejamento, estruturação e desenvolvimento de *framework*. Por exemplo, Sant'Anna (2015) apresenta uma proposta de *framework* para análise de grandes quantidades de dados. Para uma avaliação integral da organização, uma grande quantidade de dados são inseridos em sistemas decisórios e sua análise se torna complexa devido a restrições tecnológicas e conceituais. Diante dessas restrições, os atuais sistemas de apoio a decisão limitam o uso para uma avaliação de poucos parâmetros. MacCormack et al. (2003), Franke e Ciccozzi (2017) avaliam o uso de dados para apoio a tomada de decisão, considerando que para atender as restrições do uso de grande quantidade de dados, os atuais sistemas restringem a tomada de decisão de forma separada, sendo de responsabilidade do gestor a integração dos resultados apresentados.

Para superar os limites de restrição, o modelo conceitual do *framework* deve permitir aos usuários e desenvolvedores a inserção de todos os parâmetros, modelos e métodos necessários para o auxílio na tomada de decisão. Por um lado existe a restrição tecnológica, que inviabiliza a inserção de grande quantidade de dados, métodos e ferramentas, por outro lado o modelo proposto flexibiliza o uso do *framework* para a inserção de modelos

científicos que atendem a necessidade do usuário.

Premissa 2: O modelo proposto analisa a gestão operacional de forma a permitir uma abordagem sistêmica das dimensões de desempenho que impactam toda a organização.

De acordo com [Santa et al. \(2010\)](#), as dimensões de desempenho de uma organização são os custos, confiabilidade, flexibilidade e tempo. [Colledani et al. \(2014\)](#) têm uma abordagem mais ampla e divide em três dimensões: qualidade, produtividade e manutenção. Para a aplicação desse estudo, o conceito de [Colledani et al. \(2014\)](#) foi utilizado. Ademais, o processo decisório de uma organização é classificado quanto ao horizonte temporal tais que estratégico, tático e operacional. O processo decisório de uma organização tem impacto em todos os horizontes, contudo a estratégia de tomada de decisão resulta em diferentes graus de impacto. Por exemplo, a estratégia *bottom-up*, que são decisões que iniciam no nível operacional e propagam aos níveis superiores, se abordado de forma sistêmica, tem grande impacto no processo decisório estratégico. Da mesma forma, a estratégia *top-down*, que são decisões que iniciam no nível estratégico e se propaga até o nível operacional impactam em toda organização. Contudo, para [Mitra et al. \(2015\)](#), mesmo que as filosofias de gestão considerem os impactos de decisões estratégicas em todos os níveis, as decisões operacionais ainda são analisadas separadamente. [Parast \(2011\)](#) reforça da necessidade da integração das decisões operacionais aos outros horizontes temporais. Mesmo que o tema gestão operacional seja um tema amplamente estudado, a decisão sistêmica operacional precisa de mais aprofundamento em relação a sua estrutura e aplicação no processo decisório. [Chavez et al. \(2015\)](#) reforçam que as decisões operacionais não estão conectadas, o que mostra a necessidade de uma abordagem transversal em gestão operacional. [Prajogo et al. \(2018\)](#) e [Xu et al. \(2014\)](#) destacam da necessidade de uma abordagem cross-funcional em relação às áreas de uma organização, fluxo de informações e análise de desempenho.

Ademais, os dados e informações do sistema também devem ser tratados de forma sistêmica. Por exemplo, [Beckett, Wainwright e Bance \(2000\)](#) concluem que sistemas flexíveis de manufatura tem um alto grau de dependência ao sistema de informação, logo a sistematização do processo decisório considerando os dados necessários para a tomada de decisão permite melhor qualidade de produção.

Premissa 3: O modelo proposto analisa o desbalanceamento do sistema produtivo e o trade-off na tomada de decisão.

Para [Parast \(2011\)](#), o alinhamento entre a gestão operacional e o *trade-off* é essencial para as decisões gerenciais. Diversos autores enfatizam o *trade-off* e apresentam análises para sua mensuração e impactos na organização. Por exemplo, [Weiss, Sharp e Klinger \(2018\)](#) e [Rivera-Gomez et al. \(2020\)](#) apresentam o conflito entre a dimensão qualidade e as dimensões de manutenção e planejamento da produção e [Gardner \(2020\)](#) analisa o *trade-off* entre qualidade e tempo de produção. Os estudos apresentados são convergentes na dificuldade de análise do impacto do *trade-off* na organização. [Madapusi](#)

e D'Souza (2012) ressalta que esse conflito é inerente e inevitável ao processo decisório, reforçando a necessidade de mensuração do impacto da decisão em toda a organização e não somente na dimensão de desempenho analisada.

No nível estratégico, o conflito na tomada de decisão é evidente quando se analisa o seu impacto em decisões *top-down*. Mrad et al. (2019) e Rosenzweig e Easton (2010) caracterizam o *trade-off* como o conflito nas dimensões de desempenho, sendo que no nível operacional essa relação não é evidente para gestores e tomadores de decisão. Logo, a separação da tomada de decisão operacional causa desbalanceamento no sistema, e por consequência, paradas em operações (NEGAHBAN; SMITH, 2014; AGHEZZAF; JAMALI; AIT-KADI, 2007; GEBENNINI et al., 2017).

Logo a avaliação das decisões considerando o conflito da tomada de decisão em todas as dimensões de desempenho deve ser inserido no sistema de apoio a decisão. Além de analisar o impacto do desbalanceamento do sistema, a integração permite analisar e controlar os processos mais sensíveis à qualidade da produção.

Premissa 4: O modelo proposto amplia o conceito de redução de variabilidade do tempo para gestão da variabilidade do tempo

A variabilidade do tempo é considerado um problema em todas as filosofias de gestão, por exemplo, Montgomery (2009) e Junior et al. (2019) destacam os problemas decorrentes da variabilidade tais que falhas de equipamentos e defeitos em produtos, entre outros. A busca pela redução da variabilidade está presente não somente em práticas comuns aos gestores operacionais assim como presente em diferentes campos de pesquisa na área de sistemas. De forma analítica, a variabilidade do tempo é um parâmetro que deve ser controlado devido ao seu impacto no desempenho da organização, e consequentemente, na lucratividade.

Contudo, a relação do impacto da variabilidade do tempo nas dimensões de desempenho não é considerado. Apesar de estudos sobre o tema, desenvolvendo técnicas e métodos para controle e redução da variabilidade (KANNAN; TAN, 2005), o uso desses métodos integrados ao *trade-off* entre as relações de desempenho não possui aprofundamento ao tema, tampouco ao desenvolvimento de soluções de suporte à gestores. A variabilidade do tempo é amplamente estudada e a busca pela redução é recorrente a proposição da aplicação de novos métodos e ferramentas.

Por outro lado, considerando o conflito na decisão entre as dimensões de desempenho, a redução da variabilidade do tempo se torna mais abrangente. A gestão da variabilidade do tempo (GVT) analisa o impacto da variabilidade em toda a organização, e busca uma solução para o todo e não somente para o processo em operação. Para tal, mesmo que localmente a tomada de decisão não seja eficiente, entende-se que devido ao *trade-off* existente ao processo, o resultado busca a eficiência de todo o sistema interligado a ele.

Portanto, é necessário estruturar um novo modelo de tomada de decisão que abrange: decisões *bottom-up*, permitir a inserção do *trade-off* no processo decisório, inserir a variabilidade do tempo como um elemento de gestão e não exclusivamente de redução, e flexibilizar os métodos e ferramentas aplicados para análise de dados inseridos no sistemas.

Logo, há uma mudança no paradigma de gestão tradicional para uma gestão de desempenho integrada. A figura 2 mostra o modelo tradicional de tomada de decisão. A aderência da decisão quanto às dimensões de desempenho é convergente em relação a busca da eficácia e eficiência do processo. Contudo, a eficácia é controlada anterior a eficiência, e de forma separada entre as dimensões de desempenho. Da mesma forma, a avaliação da eficiência ocorre de forma separada.

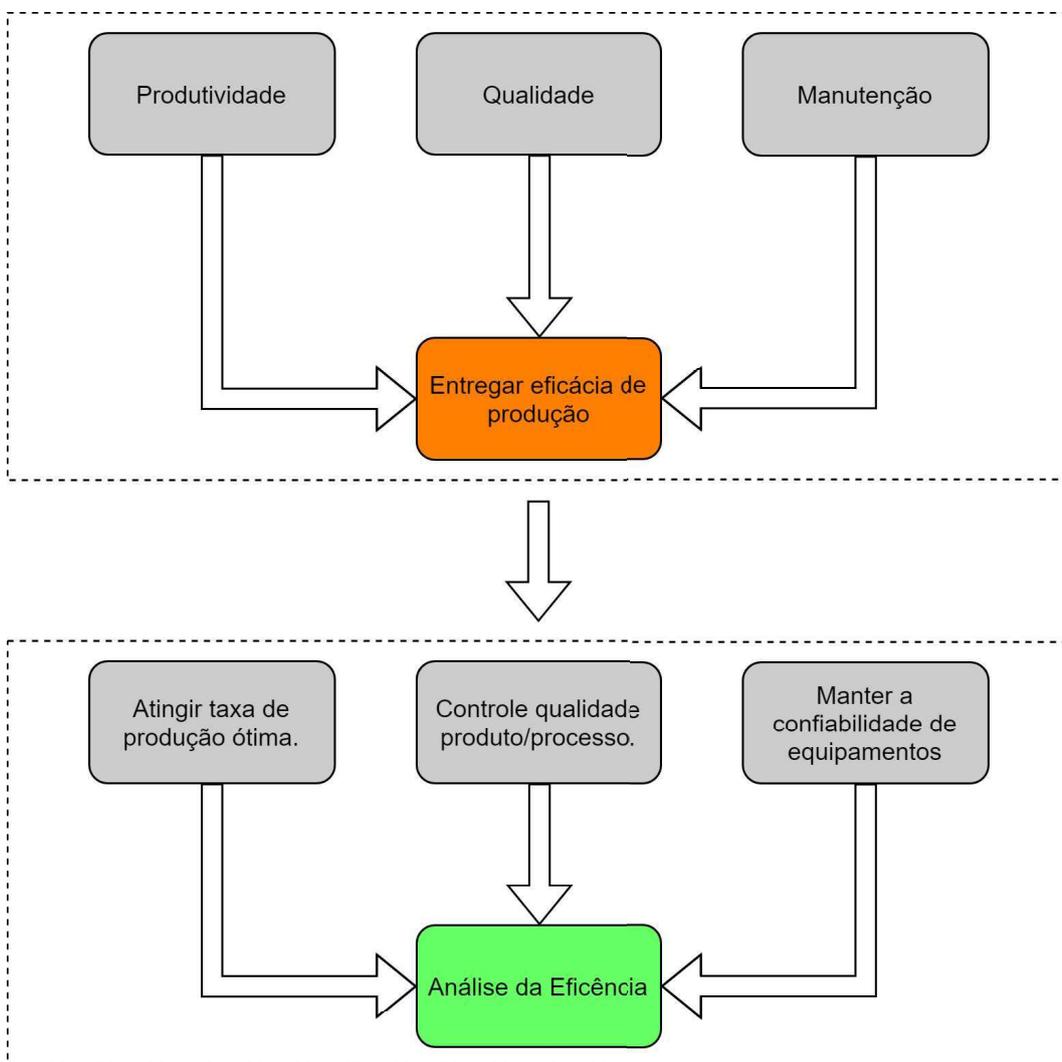


Figura 2 – Modelo conceitual da gestão operacional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Importante ressaltar que as filosofias de gestão com base em métodos de melhoria contínua enfatizam a hierarquia entre a busca da eficácia e eficiência. Os métodos de

controle de variabilidade e as respectivas etapas para coleta e análise dos dados são característicos como etapa inicial para acompanhamento do processo. Da mesma forma, a redução da variabilidade e seu impacto nas dimensões de desempenho analisados também caracterizam a avaliação da eficiência do processo.

Nesse estudo apresenta-se então um modelo de gestão em que a eficácia e eficiência do processos ocorrem de forma simultânea e indissociável. Aplicando os mesmos conceitos mas no modelo proposto de tomada de decisão, a eficácia da decisão ocorrerá por meio do sistema para coleta, análise e interpretação dos dados dos processos e, devido a existência da variabilidade no modelo, a eficiência será analisada em tempo real e os resultados são apresentados simultaneamente e inseridos no processo.

A figura 3 apresenta o modelo proposto do processo decisório. O processo decisório ocorre de forma simultânea para análise da eficácia, e posteriormente uma avaliação da eficiência do processo. Esse modelo é necessário para a gestão da variabilidade do tempo, pois a mensuração da eficácia do processo é condição para a avaliação da eficiência. Considerando que o modelo proposto é flexível às dimensões de desempenho pre-definidas pelo gestor, a eficiência do processo não é mensurada para as dimensões de desempenho separadamente como apresenta o modelo tradicional, mas para todas as dimensões inseridas de forma sistematizadas.

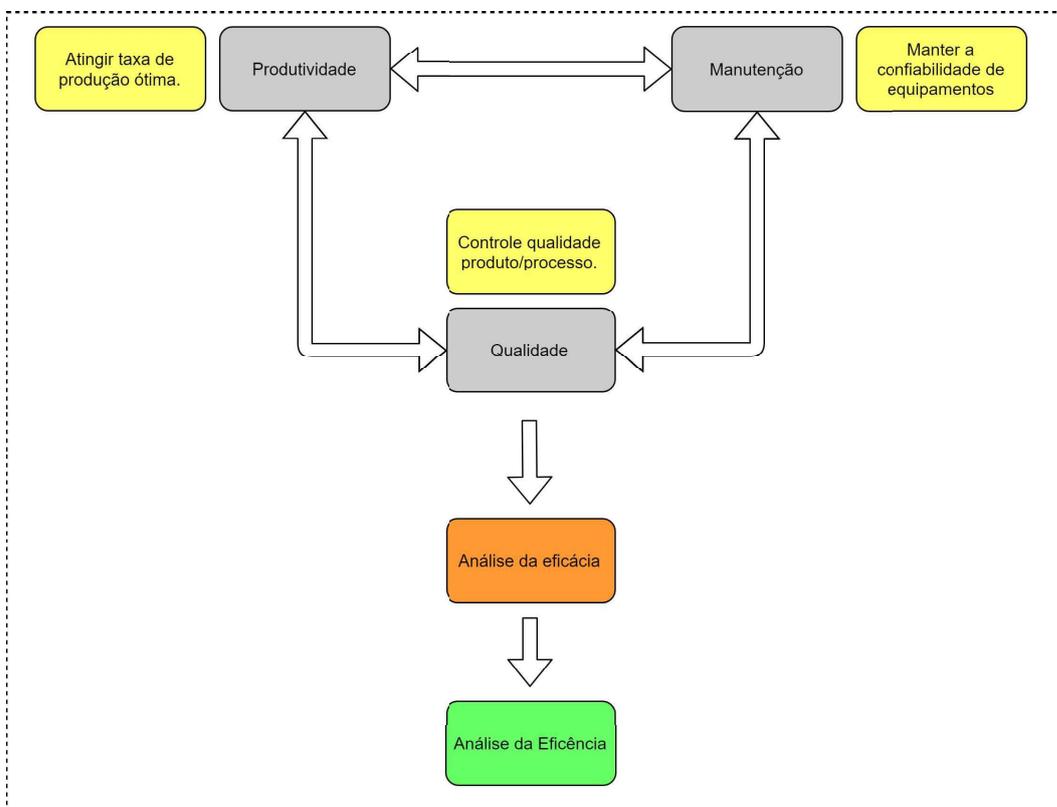


Figura 3 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando o modelo de gestão proposto na perspectiva do fluxo de dados e informação do *framework*, consolida-se então o modelo conceitual tal como apresentado na figura 4.

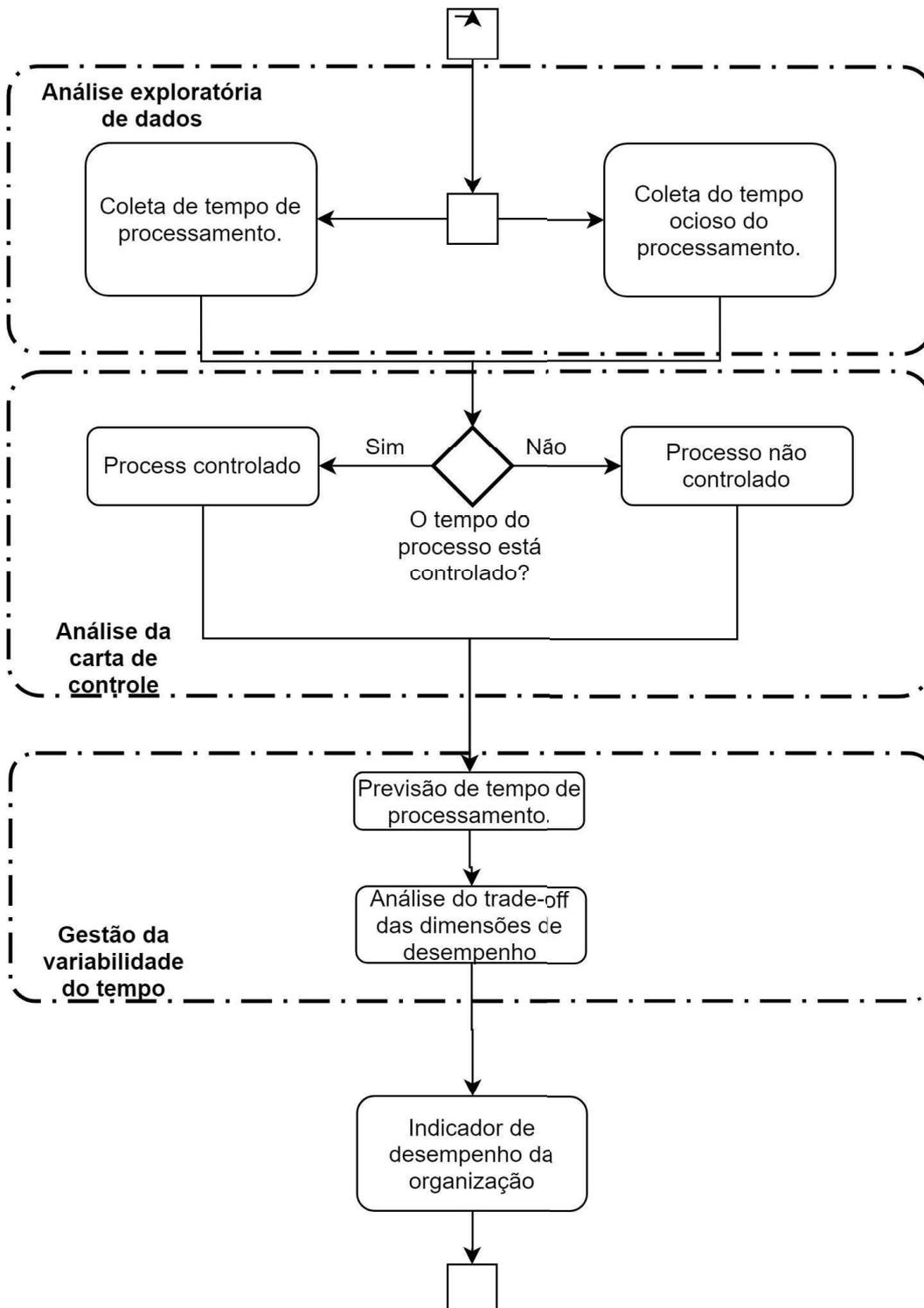


Figura 4 – Modelo conceitual proposto do processo decisório na gestão operacional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O *framework* foi modelado em três sub-sistemas tais que: análise exploratória de dados, análise de carta de controle e gestão da variabilidade do tempo. As etapas de análise exploratória de dados e análise de controle é referente a avaliação da eficácia do processo, sendo que a etapa de gestão da variabilidade do tempo é referente a avaliação da eficiência do processo.

A proposta considera o tempo de processamento como genérico, contudo no capítulo III o tempo é especificado de acordo com a aplicação proposta. Entende-se que a variabilidade do processo impacta de forma positiva, negativa ou neutra nas dimensões de desempenho avaliadas. Logo, além da etapa de coleta de dados, a avaliação da variabilidade do tempo de processo é realizada para identificar se o processo está controlado. Caso o processo não esteja controlado, devido a avaliação da eficácia do processo, o modelo avaliará o desempenho do processo para que o mesmo seja controlado.

A terceira etapa é referente a gestão da variabilidade do tempo. A avaliação do *trade-off* entre as dimensões de desempenho é realizada, utilizando os métodos/ferramentas inseridos pelo usuário. No capítulo III será apresentado dois estudos de caso utilizando modelos qualitativo e quantitativo.

2.2.3 Modelagem matemática

A modelagem matemática segue a sistematização do modelo conceitual e é apresentado em três etapas: análise exploratória de dados, análise de carta de controle e gestão da variabilidade do tempo.

Na análise exploratória de dados é apresentado o modelo estatístico de coleta, organização e análise dos dados quanto à caracterização dos dados coletados e sua organização para as etapas seguintes.

Na análise de carta de controle é apresentado o modelo estatístico de análise de dados e variabilidade quanto à caracterização dos processos inserido na modelagem dinâmica e de simulação.

Por fim, na gestão de variabilidade do tempo é descrito o modelo matemático associado aos métodos e/ou ferramentas de análise de desempenho.

2.2.3.1 Análise exploratória de dados

Seguindo o modelo conceitual proposto, a entrada de dados é a coleta de tempos de produção de um sistema à eventos discretos.

O *framework* utiliza de um método contínuo de coleta de dados definido na equação 2.1 onde T representa o tempo contínuo e a medição é realizada com base na diferença do

tempo final da realização da atividade e do tempo inicial da atividade.

$$Q_{eio} = \sum_{i=0}^1 T_{eio} - T_{(e-1)io}. \quad (2.1)$$

Para a mensuração do processo, que é um conjunto sistematizado de tarefas, é necessário realizar todas as medições dos tempos. Uma tarefa é constituída pelo tempo de execução da atividade e pelo tempo ocioso. Um processo P então é calculado utilizando a equação 2.2,

$$P = \sum_{o=1}^o \sum_{e=1}^n \sum_{i=0}^1 (T_{eio} - T_{(e-1)io}), \quad (2.2)$$

onde:

T : tempo contínuo,

e : índice do tempo mensurado,

i : índice do tipo de tempo (tempo de atividade ou tempo de ociosidade),

o : total de tarefas executadas por um único operador, e

n : tamanho da amostra mensurada.

Com base nos tempos coletados, é realizado a caracterização da distribuição de probabilidade para, posteriormente, realizar a simulação de execução da operação.

A caracterização é realizada por meio da análise de distribuição estatística Qui-quadrado seguido da identificação de pontos fora da curva e estimação intervalar da média da amostra. As distribuições estatísticas de comparação inseridas no modelo são: normal, beta, poisson, gamma e triangular. As distribuições foram definidas de acordo com os seguintes critérios: distribuições contínuas, distribuições usualmente utilizadas para a medição de processos discretos e representatividade aceita para amostras de até 100 ocorrências.

A distribuição Qui-quadrado é representada na equação 2.3,

$$\chi^2 = \sum_{all\ classes} \frac{(Q_{eio} - v_{eio})^2}{v_{eio}}, \quad (2.3)$$

onde:

v : valores de comparação da distribuição de comparação.

O grau de liberdade da distribuição é o tamanho amostral da coleta realizada. Para a aplicação do *framework*, foi definido um tamanho amostral de 100 ocorrências por operação. O mesmo tamanho amostral foi utilizado na aplicação do modelo nos estudos de caso apresentados no capítulo 3.

Para a caracterização estatística do ajuste dos dados coletados à distribuição comparada, um teste de hipótese é necessário. Nesse modelo o teste apresenta as seguintes hipóteses:

H_0 : valores observados são iguais aos valores teóricos e

H_a : valores observados não são iguais aos valores teóricos.

Para testar a hipótese, o teste da razão de verossimilhança é realizado conforme a equação 2.4 onde $\hat{\theta}_0$ e $\hat{\theta}_A$ são os valores máximos estimados de verossimilhança de cada distribuição testada. A hipótese nula é aceita se o p-valor calculado pelo teste é maior que 0,05.

$$LRT = -2 \ln\left(\frac{L(\hat{\theta}_0\chi)}{L(\hat{\theta}_A\chi)}\right), \quad (2.4)$$

2.2.3.2 Análise de carta de controle

Com base na caracterização da amostra realizada na etapa anterior, os tempos são analisados por meio de carta de controle.

Para tal deve-se considerar a normalidade do conjunto de dados analisados, sendo que no modelo proposto os dados são analisados pela média da amostra coletada como apresentado na equação 2.5.

A normalidade das médias segue o teorema do limite central, onde \bar{Q}_{io} é normalmente distribuído e os limites superior (LS) e inferior (LI) são as fronteiras do intervalo de confiança. Nesse estudo, o limite de 3σ foi definido, seguindo a recomendação de Montgomery (2009).

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + 3(\sigma_{\bar{Q}_{io}}), \\ LCL &= \mu - 3(\sigma_{\bar{Q}_{io}}). \end{aligned} \quad (2.5)$$

A análise da variabilidade ocorre por meio do mapeamento, modelagem e previsão do tempo de execução da tarefa de cada operador.

Mapeamento e modelagem. Um modelo em rede de Petri é utilizado para simular o tempo de execução e ociosidade do operador. Além da apresentação gráfica de modelos dinâmicos, a rede de Petri é um modelo matemático consolidado na pesquisa científica para análise de sistemas discretos e contínuos (MURATA, 1989; DRAKAKI; TZIONAS, 2017; BAŞAK; ALBAYRAK, 2014).

De acordo com Murata (1989), uma rede de Petri é definida como uma 5-tupla, tal que, $PN = (P, T, F, W, M_0)$,

onde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ é um número finito de conjunto de estados,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é um número finito de conjunto de transições,

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto de arcos (relação de fluxo) entre estado e transição, e

$W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ é o peso de transferência de marcas entre arcos e transição,

$P \cap T = \emptyset$, e $P \cup T \neq \emptyset$.

Para a etapa de mapeamento, a equação 2.6 representa uma 3-tupla, tal que $M = (P, T, F)$, definido por uma matriz genérica C de estados e transições. A simplificação do modelo proposto por (MURATA, 1989) é necessária para garantir o mapeamento sem os elementos dinâmicos da modelagem e simulação do processo.

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} T_1 & T_2 & \dots & T_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (2.6)$$

Posteriormente, a modelagem e simulação do processo seguem as regras de disparo definidas pelo autor e representadas na equação 2.7.

$$\forall p \in P, M' = M + C(., t). \quad (2.7)$$

2.2.3.3 Gestão da variabilidade do tempo

A etapa de gestão da variabilidade do tempo (GVT) é realizada por meio do cálculo do fator de gestão de variabilidade do tempo (TVMF) e da variabilidade do tempo de execução e ociosidade da operação. A equação 2.8 define o TVMF, que é a multiplicação do coeficiente de variação da tarefa ou tempo de ociosidade pela análise de variabilidade definida na equação 2.9.

$$TVMF = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Sob controle} & \text{Fora de controle} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Tempo ocioso} \\ \text{Tempo da tarefa} \end{matrix} & \begin{pmatrix} CV_{11} * f(Q_{e0o}) & CV_{12} * f(Q_{e0o}) \\ CV_{21} * f(Q_{e0o}) & CV_{22} * f(Q_{e0o}) \end{pmatrix}, \end{matrix} \quad (2.8)$$

onde:

CV : coeficiente de variação

$TVMF$: fator de gestão da variabilidade do tempo (TVMF).

O valor máximo de variabilidade do tempo entre o tempo de execução da operação e a ociosidade é avaliado e inserido na equação 2.8).

$$f(x) = \begin{cases} \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\mu_{e0o} - \overline{Q_{e0o}}}{\mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\mu_{e1o} - \overline{Q_{e1o}}}{\mu_{e1o} - LCL}) & \text{if } x \leq UCL \text{ or } x \geq LCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}} - \mu_{e0o}}{UCL - \mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}} - \mu_{e1o}}{UCL - \mu_{e1o}}) & \text{if } x > UCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}}}{\mu - Q_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}}}{\mu - Q_{e1o}}) & \text{if } x < LCL. \end{cases} \quad (2.9)$$

Posteriormente, o TVMF é avaliado, definindo o escore de *trade-off* referente a necessidade de redução de variabilidade da operação com base nos seguintes critérios:

- Se aumentar o tempo de execução da tarefa ou de ociosidade for necessário para reduzir a variabilidade, os escores de *trade-off* da coluna seta para cima é considerado na análise, respectivamente.
- Se diminuir o tempo de execução da tarefa ou de ociosidade for necessário para reduzir a variabilidade, os escores de *trade-off* da coluna seta para baixo é considerado na análise, respectivamente.

A tabela genérica 2 apresenta a relação de aumento ou redução de tempo de execução da atividade ou ociosidade com as dimensões de desempenho.

O modelo proposto está limitado a análise de 3 dimensões de desempenho. Cada dimensão de desempenho tem como resultante uma constante referente ao desempenho de uma dimensão de desempenho. A seguir são apresentados a descrição de cada elemento da tabela de escores:

Quadro 2 – Escore do trade-off.

	Tempo de ociosidade		Tempo de execução da operação	
	↑	↓	↑	↓
DD1	MCDD1xATOs	MCDD1xRTOs	MCDD1xATO	MCDD1xRTO
DD2	MCDD2xATOs	MCDD2xRTOs	MCDD2xATO	MCDD2xRTO
DD3	MCDD3xATOs	MCDD3xRTOs	MCDD3xATO	MCDD3xRTO

Fonte: Autor.

- DD1: Dimensão de Desempenho 1

- DD2: Dimensão de Desempenho 2
- DD3: Dimensão de Desempenho 3
- MCDD1xATOs: Modelo matemático com resultante constante para aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 1.
- MCDD1xRTOs: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 1.
- MCDD1xATO: Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 1.
- MCDD1xRTO: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 1.
- MCDD2xATOs: Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 2.
- MCDD2xRTOs: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 2.
- MCDD2xATO: Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 2.
- MCDD2xRTO: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 2.
- MCDD3xATOs: Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 3.
- MCDD3xRTOs: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de ociosidade da dimensão de desempenho 3.

- MCDD3xATO: Modelo matemático com resultante constante para o aumento do tempo de execução da operação dimensão de desempenho 3.
- MCDD3xRTO: Modelo matemático com resultante constante para a redução do tempo de execução da operação da dimensão de desempenho 3.

O modelo proposto apresenta limitação de 3 dimensões de desempenho em relação ao comportamento de variabilidade do tempo mensurado. Os modelos matemáticos inseridos resultam numa constante normalizada e seu valor inserido no quadro 2. Para a aplicação do *framework* esse estudo apresenta dois casos, um com modelo de função constante, e outro utilizando um modelo de análise multicritério.

Os escores inseridos no quadro 2 é o resultado normalizado de uma função, sendo o somatório das constantes igual a 1.

Para o modelo de análise multicritério, a análise hierárquica multicritério (AHP) proposto por Saaty (1990) é utilizado. A AHP é definida como um método de comparação da razão por pares derivado de uma escala relativa de julgamento ou dados. O objetivo da utilização do AHP nesse estudo é permitir a inserção de um modelo quali-quantitativo para a análise do *trade-off* das dimensões de desempenho definidas pelo usuário.

De acordo com Rashidi (2020), O método AHP é uma proposta de análise de autovetores e autovalores usados no cálculo matricial dos pesos referente ao julgamento de especialistas.

Assumindo que há $d_m(m = 1, \dots, M)$ especialistas sobre a tomada de decisão em gestão operacional, propondo uma avaliação do impacto da variabilidade do tempo sobre as dimensões de desempenho da organização $n(j = 1, \dots, J)$ com base nos critérios de análise $c(q = 1, \dots, Q)$, a matriz de decisão por pares é formulada na equação (2.10).

$$\sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q c = \begin{pmatrix} & j_1 & j_2 & \dots & J \\ j_1 & 1 & p_1/p_2 & \dots & p_1/p_J \\ j_2 & p_2/p_1 & 1 & \dots & p_2/p_J \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ J & p_J/p_1 & p_J/p_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

onde:

p : A performance de cada critério pela comparação por pares.

Ademais, para analisar a consistência dos dados coletados por meio de entrevistas com os especialistas, Saaty (1990) propõe o uso da razão de consistência (CR) sobre cada critério. Saaty (1990) e Rashidi (2020) apresentam a dedução do modelo matemático utilizado.

O resultado do AHP é utilizado no quadro 2 como escores do *trade-off* na análise do desempenho da organização.

Logo, a cada análise de variabilidade realizada é calculada a média dos escores de *trade-off* e inseridos em um indicador colaborativo de desempenho representado por um gráfico tipo radar.

2.2.4 Modelagem computacional

Uma das vantagens do desenvolvimento de um *framework* é a facilidade de aplicação em sistemas. Especificamente para um sistema de tomada de decisão, o *framework* deve ser descrito por meio da sua relação com o processo de coleta, organização, análise e interpretação dos dados. Ademais, o armazenamento de dados, estruturação dos módulos de análise e os protocolos de comunicação e transferência de dados são estruturados de modo a atender o modelo proposto e identificar suas limitações.

A modelagem computacional segue a estruturação e modelagem teórica descrita anteriormente nesse estudo e é dividido nos seguintes módulos:

- Módulo de análise exploratória de dados (MAED): responsável pela coleta, organização e caracterização dos tempos dos processos em estudo.
- Módulo de Mapeamento e modelagem do processo (MMMP): responsável pelo mapeamento dos processos, modelagem matemática da dinâmica do fluxo de eventos e restrições do processo.
- Módulo de gestão da variabilidade do tempo (MGVT): responsável pela análise do *trade-off* da variabilidade do tempo do processo e seu impacto sobre as dimensões de desempenho inseridas no modelo.

A figura 5 apresenta a estruturação modular do modelo computacional.

A estruturação modular apresenta vantagem quanto a adaptação do *framework* para todas as etapas propostas. Para tal é necessário apresentar a relação funcional e matemática das variáveis de entrada e saída.

O modelo teórico proposto tem como base elementos matemáticos e estatísticos que, quando abordados de forma sistematizada resultam no fluxo de dados e sua transformação. Para tal, o modelo proposto foi desenvolvido utilizando a plataforma de modelagem matemática e computacional *Matlab*. Além da presença de bibliotecas específicas sobre análise de dados estatísticos, a plataforma permite fácil integração com banco de dados funcionais e é compatível com o sistema operacional Windows (ATTAWAY, 2019). Ademais, a plataforma *Matlab* foi escolhida para o desenvolvimento desse estudo pois contém a

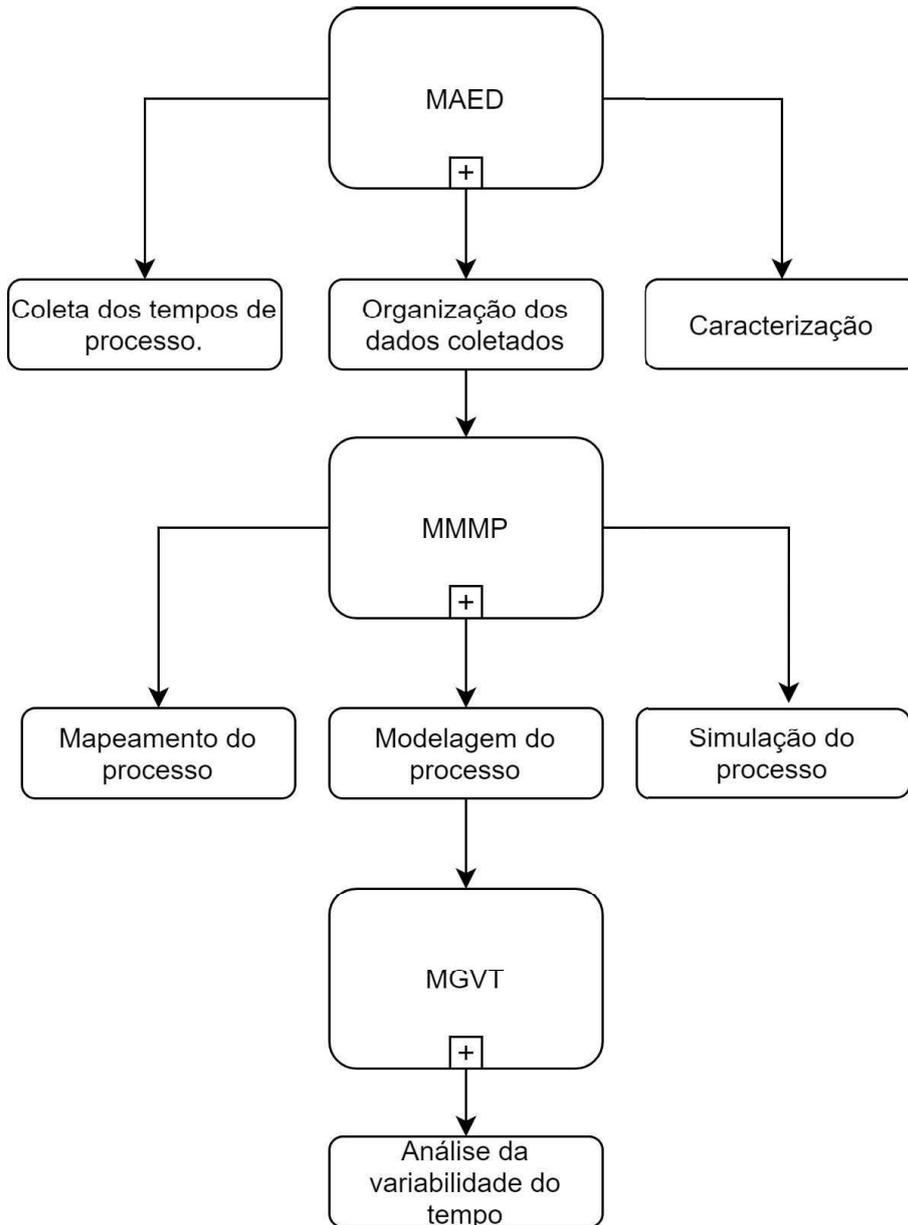


Figura 5 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

biblioteca *GPensim* de ampla utilização e fácil adaptação para o mapeamento e modelagem de sistemas utilizando rede de Petri (DAVIDRAJUH; LIN, 2011).

Logo, o modelo computacional relaciona as funções inseridas nos módulos apresentados. As funções possuem as variáveis de entrada, os modelos matemáticos e relacional de dados, e as variáveis de saída. Importante ressaltar que o modelo relacional de dados será apresentado na estruturação do banco de dados e que o fluxo de dados entre as funções dentro dos módulos são apresentados na figura 6.

Os elementos apresentados como base de dados são divididos em duas categorias:

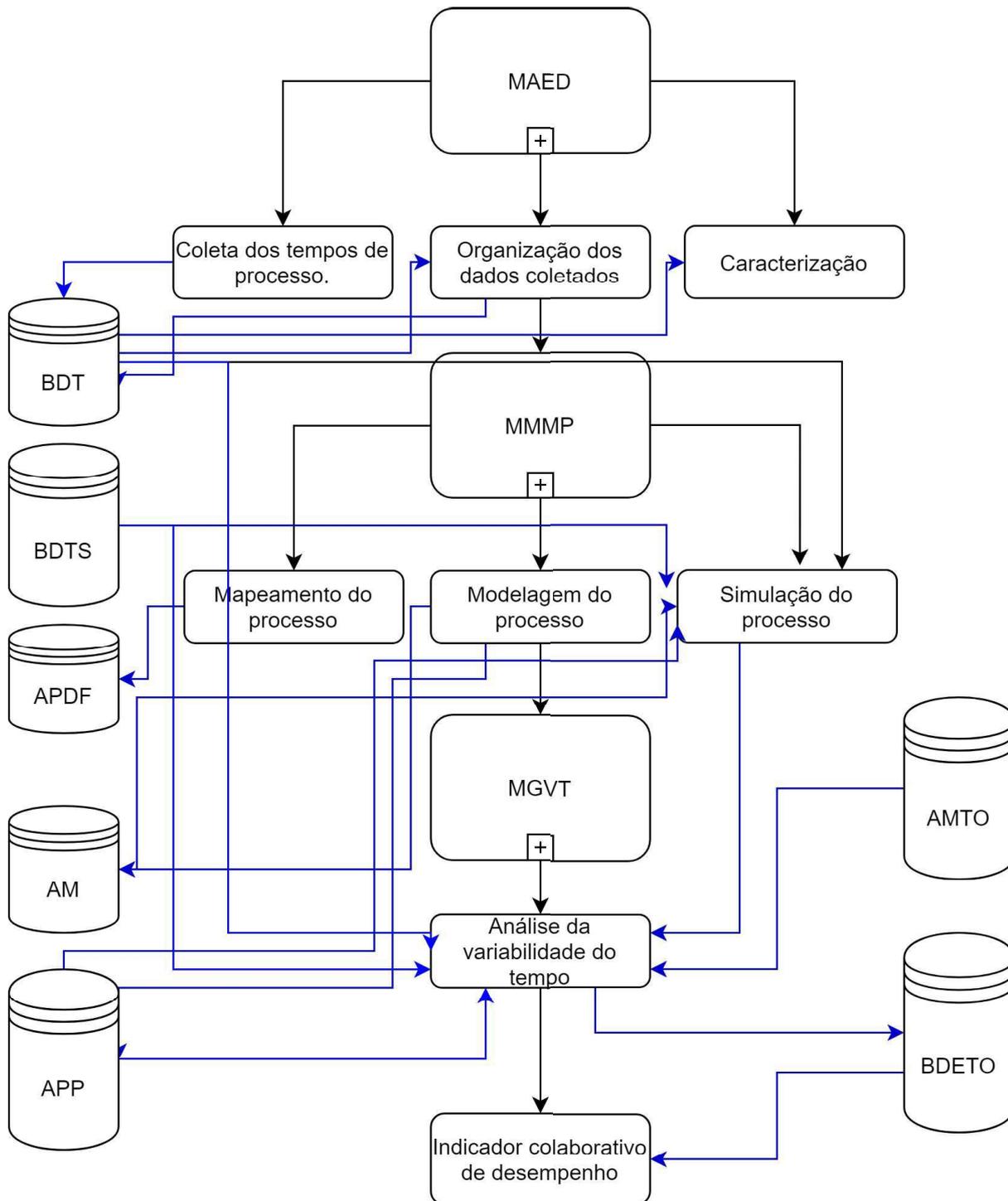


Figura 6 – Modelo proposto do processo decisório na gestão operacional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

arquivos de configuração no *Matlab* e base de dados *MySQL*. Esta base de dados foi escolhida pois é de uso gratuito e permite integração direta com uma biblioteca de conexão em base de dados remoto (OHYVER et al., 2019).

Abaixo a estrutura de dados dentro das categorias apresentadas:

- BDT: base de dados dos tempos coletados. A base de dados armazena os dados de execução e ociosidade da operação em análise.
- BDTS: base de dados dos tempos simulados. A simulação dos tempos de operação para posterior análise de variabilidade são armazenadas.
- APDF: arquivo de configuração do mapa de processo. Esse arquivo de configuração faz parte da biblioteca *GPenSim* utilizada para a configuração do mapeamento de processos em rede de Petri.
- AM: arquivo de modelagem. Esse arquivo de modelagem faz parte da biblioteca *GPenSim* utilizada para a configuração da modelagem de processos em rede de Petri.
- APP: arquivo de funções *pré* e *post*. Esse arquivo de configuração faz parte da biblioteca *GPenSim* utilizado para a configuração de funções para a simulação de processos em rede de Petri.
- AMTO: arquivos do modelo *trade-off*. Esses arquivos contêm os métodos e ferramentas utilizado para a análise da variabilidade do tempo e o *trade-off* das dimensões de desempenho inseridos no *framework*.
- BDETO: base de dados dos escores de *trade-off*. A base de dados que armazena os escores selecionados seguindo os critérios apresentados no modelo teórico.

Os arquivos de configuração no *Matlab* para a modelagem do processo e métodos de análise de trade-off são configurados previamente. O *framework* proposto faz a coleta em tempo real dos tempos de operação, logo não há intervenção manual na inserção de dados durante a execução do *framework*. Para tal é importante apresentar a estruturação dos arquivos de configuração.

A estrutura do mapeamento e modelagem do processo do APDF é apresentado no código abaixo:

```
function [png] = campos_pdf()
png.PN_name = 'Product Separation';
png.set_of_Ps = {'pStart', 'pEnd1', 'pEnd2', 'p_op', 'pEnd3'};
png.set_of_Ts = {'tv1', 't1', 't2'};
png.set_of_As = {...
'pStart', 'tv1', 1, 'tv1', 'pEnd1', 1, 'pEnd1', 't1', 1, 'p_op', 't1', 1, 't1', 'pEnd2', 1,
'pEnd2', 't2', 1, 't2', 'pEnd3', 1, 't2', 'p_op', 1};
```

onde:

PN_name: nome do processo,

set_of_Ps: conjunto de estados,
set_of_Ts: conjunto de transições,
set_of_As: Conjunto de arcos (fluxos entre transições).

Na estrutura do conjunto de arcos, define-se os estados que estão conectados pelo fluxo apresentado e o peso do arco. O peso do arco é necessário para a modelagem e simulação do processo em estudo. O exemplo acima representa o mapeamento e modelagem do processo de separação utilizado para a aplicação do *framework* no capítulo III.

O AM apresenta os elementos necessários para a execução da modelagem e simular o processo em estudo. O trecho de configuração do arquivo é apresentado a seguir:

```
pns = pnstruct('campos_pdf_pharmaceutical');
dyn.m0 = {'pStart',200,'p_op',1};
dyn.ft = {'tv1',1,'t1',dist_ch1, 't2',dist_ch2}; %
pni = initialdynamics(pns, dyn);
```

onde:

pns: chamada para o arquivo APDF, que contém as informações de mapeamento do processo.

dyn.M0: As marcas iniciais do processo. As marcas são necessárias para a etapa de simulação e fazem parte dos elementos essenciais da modelagem do processo apresentado no modelo teórico (ver equação 2.7 e referência Murata (1989))

pni: Chamadas para os dados necessários para a simulação.

O arquivo de funções APP apresenta as funções desejadas durante a simulação do processo. Os arquivos *pré* e *post* são referentes a cada transição do processo em estudo. Nesse framework foram inseridos funções para armazenamento dos tempos simulados na etapa de simulação de processo e chamada para a análise de variabilidade do tempo.

O arquivo de métodos utilizado para a análise de *trade-off* AMTO contém as funções para a execução do método e/ou ferramentas utilizados para análise da variabilidade do tempo e seu impacto na dimensão de desempenho. Todos os arquivos utilizam a mesma função com as variáveis de entrada e saídas apresentadas abaixo:

```
function iddle_fact = act_act_ic(iddle_dados)
```

```
iddle_fact=0.485;
```

end

onde:

iddle _fact: nome da função referente a análise de trade-off.

act _act _ic(iddle _dados): função de recebimento dos dados de entrada.

iddle _fact: variável de saída.

O exemplo acima representa uma função constante com saída em números reais. Como mencionado no modelo conceitual, os arquivos são flexíveis para qualquer métodos e/ou ferramenta de análise desde que possuam a mesma entrada e saída. Sempre haverá uma constante de saída, que é definida como escore de *trade-off*.

O armazenamento dos dados do *framework* é realizado por meio de um banco de dados *MySQL*, com conexão remota e estruturado de acordo com os quadros 3, 4 e 5 a seguir :

Quadro 3 – Estrutura da tabela do tempo de ociosidade do operador.

Nome do campo	Tipo de dados
id	Inteiro
Transição	Texto
Tipo _tempo	Texto
Tempo _gt	Tempo (segundos)

Fonte: Autor.

Os tempos de ociosidade e execução da tarefa pelo operador, assim como os tempos simulados para a previsão de variabilidade seguem a estrutura da tabela 3.

Quadro 4 – Estrutura da tabela dos escores de trade-off.

Nome do campo	Tipo de dados
id	Inteiro
transicao _1	Inteiro
Escore _2	Decimal
Tipo _3	Inteiro

Fonte: Autor.

Os dados são inseridos no banco de dados pelas chamadas realizadas nos arquivos de funções APP. A integração do sistema com a base de dados foi realizada remotamente,

Quadro 5 – Estrutura da tabela de CKPI.

Nome do campo	Tipo de dados
id	Inteiro
Dimensao _1	Decimal
Dimensao _2	Decimal
Dimensao _3	Decimal

Fonte: Autor.

ou seja os dados não são armazenados no computador que está rodando o *script* do matlab, mas em outro servidor. O banco de dados remoto apresenta vantagens quanto ao compartilhamento e segurança dos dados. O *MySql* utiliza o protocolo de comunicação *TCP/IP* para gerenciar o fluxo de dados entre servidor e cliente.

Todas as tabelas do banco de dados possuem a coluna *id*. Essa coluna representa o número de identificação de cada entrada do processo e está configurada como *auto_increment* para impedir a duplicidade de valores, incrementando automaticamente seu valor a cada entrada de dados.

As tabelas 3 e ?? armazenam os dados coletados do processo. Os dados são enviados pela chamada realizada nos arquivos de funções APP. As tabelas ?? e ?? armazenam os dados simulados do processo. Os dados também são enviados pela chamada realizada nos arquivos de funções APP.

A tabela 5 armazena o indicador colaborativo em cada interação de execução de uma nova operação, resultado da análise da variabilidade do tempo. O indicador colaborativo é a saída final do modelo proposto. A análise ocorre por meio do cálculo da média dos escores de *trade-off* a cada início do processo, sendo armazenado todos os escores permitindo assim uma posterior análise do comportamento do processo.

3 Coletânea de artigos

3.1 Organização e articulação dos artigos

Os artigos dessa seção apresentam o desenvolvimento do estudo realizado e a articulação técnica e teórica do *framework* proposto. No artigo I foi realizada uma revisão de literatura para a identificação dos temas e autores que norteiam esta pesquisa, resultando na análise dos campos de pesquisa explorados e sua inserção no modelo decisório proposto. No artigo 02 foi realizada a aplicação do *framework* proposto para a análise de performance produtiva de uma montadora de computadores utilizando um modelo constante e qualitativo de tomada de decisão quanto à variabilidade do tempo de produção. No artigo 03 foi realizada a aplicação do *framework* proposto para a análise de desempenho da sustentabilidade da operação de separação de medicamentos em um centro logístico de distribuição de medicamentos utilizando um modelo quali-quantitativo por meio da AHP. A figura 7 apresenta a relação entre os artigos e a aplicação dos modelos decisórios. Esta tese apresenta uma estrutura de artigos correlacionados que tem como objetivo apresentar os resultados obtidos na aplicação do método proposto por meio da revisão de literatura e utilização de ferramentas estatística, matemática e computacional.

Nesse sentido, o artigo 1 intitulado "Gestão operacional e variabilidade do tempo: revisão bibliométrica e perspectivas futuras" descreve o conceito de variabilidade do tempo por meio de uma revisão bibliométrica do tema e identificando as áreas de aplicação e de pesquisa mais atuantes no desenvolvimento de modelos decisórios na gestão operacional. Inicialmente foi realizado um estudo bibliométrico que identificou os principais periódicos que apresentam pesquisas sob o tema, permitindo a identificação dos principais autores e analisando os campos conceituais por meio da co-ocorrência de palavras chave entre os artigos em estudo.

A identificação dos principais periódicos e autores permitiu identificar as necessidades quanto à aplicação de modelos decisórios que consideram a gestão da variabilidade do tempo em decisões operacionais. Este estudo permitiu identificar os métodos qualitativos e quantitativos aplicados à modelos decisórios, seus objetivos e as sugestões de pesquisas futuras.

Os campos conceituais identificados foram: modelos de gestão, gestão da cadeia de suprimentos, performance e otimização e sistemas. O artigo apresenta a relação entre os campos conceituais e o tema gestão da variabilidade do tempo, identificação a necessidade de pesquisas e desenvolvimento de modelos decisórios integrados à sistemas de informação. Ademais, a relação entre os métodos utilizados foi apresentado no capítulo 1.5 desse

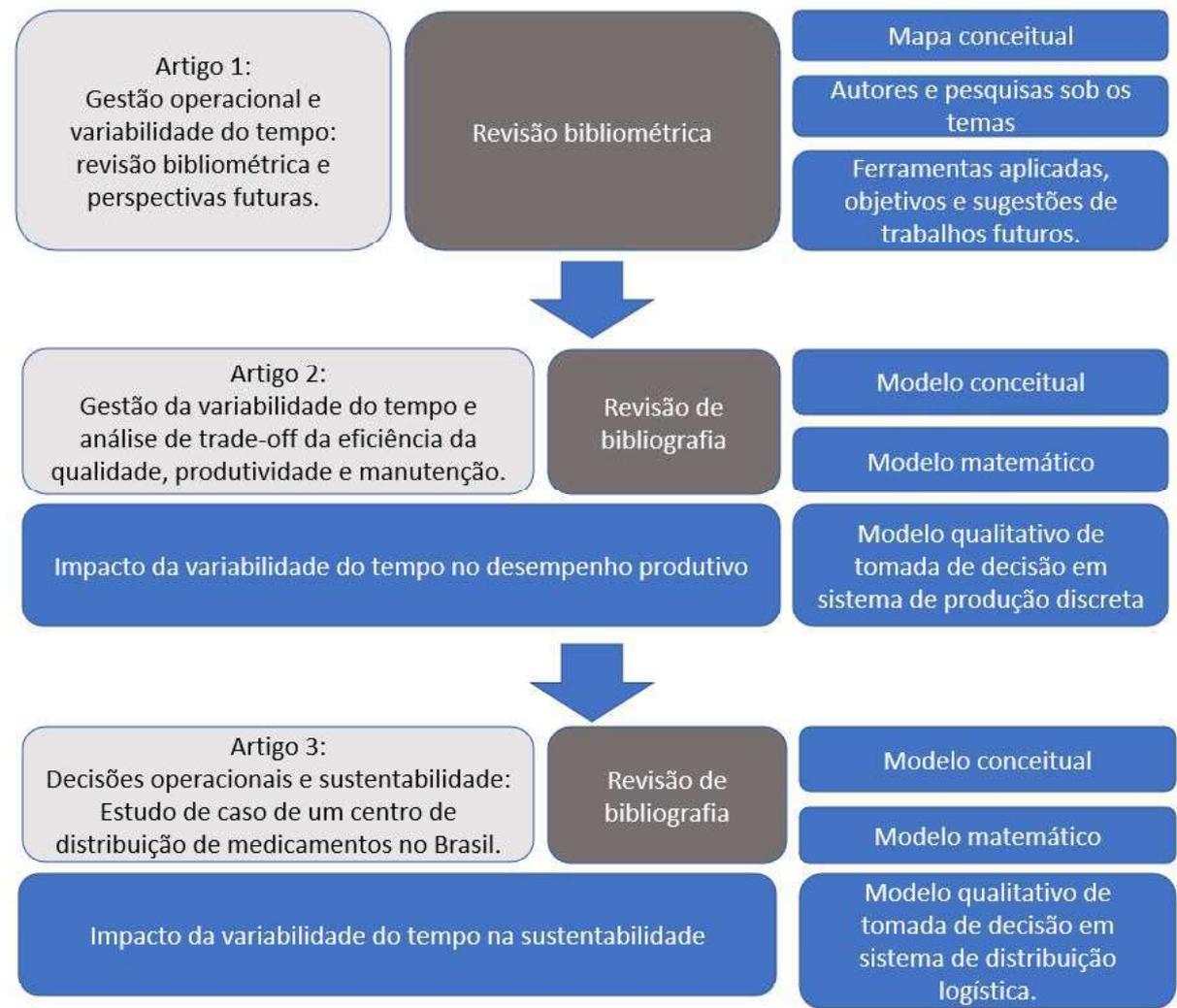


Figura 7 – Relação entre os artigos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

trabalho. Logo, foi identificado a necessidade de desenvolvimento de um sistema de análise da performance operacional, relacionando a gestão da variabilidade do tempo com o desempenho das operações das organizações. Especificamente para este trabalho, este estudo foi direcionado para o desenvolvimento de um sistema para à análise do desempenho de operações de sistemas discretos como apresentados nos artigos 2 e 3.

No artigo 2 intitulado "Gestão da variabilidade do tempo e análise de trade-off da eficiência da qualidade, produtividade e manutenção", a aplicação do modelo desenvolvido nesse estudo tem como características a análise de um modelo decisório qualitativo. Por meio da análise de bibliografia foi apresentado os autores base para o desenvolvimento de um modelo conceitual de tomada de decisão, sistematizando os resultados de pesquisas e propostas de trabalhos futuros dos autores em estudo para os seguintes temas: considerações no desempenho operacional, a relação entre o trade-off e sistemas desbalanceados e gestão

da variabilidade do tempo.

No primeiro tema, o desempenho operacional é apresentado como dependente de uma análise sistêmica dos parâmetros de tomada de decisão. O artigo apresenta as deficiências em relação aos modelos de tomada de decisão, quanto da grande quantidade de parâmetros à ser analisado e do impacto em relação a outras dimensões de desempenho. Para tal é apresentado o conceito de conflito na tomada de decisão, o trade-off. Nesse sentido o trade-off é relacionado com o desbalanceamento de sistemas, apresentando problemas e desvantagens do uso de sistemas não balanceados. Por fim, a relação entre os autores apresenta o conceito de gestão da variabilidade do tempo, mostrando o impacto que a variabilidade do tempo de produção tem em relação ao desempenho da organização.

No artigo 3 intitulado "Decisões operacionais e sustentabilidade: Estudo de caso de um centro de distribuição de medicamentos no Brasil", utilizando o modelo conceitual e matemático apresentado no artigo 2, é realizada a aplicação do *framework* proposto utilizando o análise hierárquica multicritério (AHP) como método quali-quantitativo. O artigo apresenta a análise da variabilidade do tempo utilizando um modelo mais robusto em relação a percepção das atividades operacionais da separação de medicamentos quanto aos pilares da sustentabilidade. A aplicação realizada nesse artigo permitiu analisar a aplicação do modelo proposto na área de sustentabilidade em operações logísticas.

3.2 Artigo 01 - Gestão operacional e variabilidade do tempo: revisão bibliométrica e perspectivas futuras.

Resumo O uso de novas tecnologias para a gestão das organizações permite atingir níveis de excelência na eficiência da tomada de decisão. Além dos recursos humanos, materiais e financeiros, a gestão da informação é necessária pois auxilia no modelo de tomada de decisão fornecendo dados e informações necessárias ao processo decisório. Nesse estudo é apresentado a análise bibliométrica da pesquisa realizada para a gestão da variabilidade do tempo e sistemas de informação. Esse estudo propõe descrever o conceito de variabilidade do tempo por meio da identificação dos temas de pesquisa relacionado a variabilidade do tempo e identificando o mapa conceitual que permite direcionar estudos sobre o uso de ferramentas e métodos para a gestão da variabilidade do tempo. Inicialmente foi realizado um estudo bibliométrico que identificou os periódicos e autores que possuem mais publicações sob o tema. Posteriormente, por meio de um estudo de co-ocorrência de palavras chave sobre o tema variabilidade do tempo foi identificado os campos conceituais e, por fim, apresentado os direcionamentos da pesquisa por meio da relação entre ferramentas e métodos utilizados pelos autores em estudo.

Palavras-chave: Campos conceituais; variabilidade do tempo; gestão de operações

3.2.1 Introdução

No contexto atual de gestão da informação, o uso de novas tecnologias associado à gestão das organizações permite atingir altos níveis de eficiência. O processo de tomada de decisão envolve não somente recursos materiais, humanos e financeiros, mas também a análise dos dados e informação existente em todo o processo. No horizonte de tomada de decisão operacional, as etapas de coleta, organização e análise de dados se torna imprescindível para melhores decisões quanto ao desempenho da organização.

A análise dos parâmetros operacionais que caracterizam os processos é uma atividade rotineira e que necessita do uso de tecnologia e conhecimento para auxiliar no processo decisório do gestor. Os parâmetros estão ligados diretamente à análise do desempenho da organização, compondo seus indicadores de desempenho operacionais e assim permitindo acompanhar o processo e torná-lo eficaz e eficiente quanto a transformação dos insumos em produto final. Um indicador de desempenho é a medida de quantificação da eficácia e eficiência da organização. [Cho et al. \(2012\)](#) apresenta a estruturação de um sistema de medição de desempenho na gestão de cadeia de suprimentos. Por meio da organização e sistematização das métricas de desempenho operacional, tática e estratégica, o autor apresenta uma integração dos indicadores de desempenho. Da mesma forma, [Lohman, Fortuin e Wouters \(2004\)](#) apresenta uma metodologia para desenvolver um sistema de mensuração operacional. No nível operacional, o autor apresenta as mensurações de

desempenho comparando as entradas e saídas dos processos. Contudo, o autor enfatiza da necessidade de resgatar as informações corretas, tornando os indicadores mais direcionados à uma avaliação de performance financeira. O desenvolvimento de indicadores de desempenho tem como fonte a coleta dos dados operacionais, fazendo da interpretação dos dados em informações necessárias para a análise do desempenho tático e estratégico da organização.

Entre outras características da gestão operacional, a grande quantidade de dados e parâmetros a serem analisados é um desafio. Além da necessidade de ferramentas que coletam e analisam os dados de forma rápida, prover as informações para os gestores e colaboradores da organização é uma dificuldade inerente à gestão operacional. Logo, a gestão operacional também está ligada à gestão da informação, o que permite gerar conhecimento de forma eficiente e, por consequência, auxiliar a tomada de decisão para a otimização e melhoria de processos. Por exemplo, [Prajogo e Olhager \(2012\)](#) analisa a performance da cadeia de suprimentos quando integrada a um sistema de informação. Além de ressaltar da necessidade de integração do sistema de informação, o autor apresenta o impacto dessa prática a longo prazo. Por meio da criação de um *framework*, o autor ressalta que a cadeia de suprimentos é dependente da integração do sistema de informação. Logo, uma gestão operacional eficiente é dependente da integração da gestão da informação que flui em todo o sistema produtivo.

Entre outros parâmetros operacionais, o tempo de produção é amplamente analisado. Os impactos sobre o processo produtivo devido a variabilidade do tempo é propagado em diversas áreas do sistema produtivo, causando problemas críticos à organização. Para buscar soluções que reduzam os impactos da variabilidade do tempo de produção, gestores utilizam de teorias, métodos e ferramentas que analisam a variabilidade e por meio da identificação dos parâmetros que causam a variabilidade, buscam soluções para reduzi-la. As filosofias de gestão propõem a redução da variabilidade do tempo pelo uso de ferramentas quantitativas e qualitativas, sempre enfatizando que a variabilidade é um problema a ser resolvido e crítico para a organização ([HOLWEG, 2007](#)).

A literatura apresenta estudos sobre variabilidade do tempo de produção em diversas vertentes. De fato, o tempo de produção é inserido no contexto operacional por meio da definição de parâmetros que impactam o sistema produtivo localmente e globalmente. Por exemplo, o conceito de *leadtime* é amplamente utilizado no contexto da gestão da cadeia de suprimentos. Outro exemplo é a definição do tempo *TAKT* que é analisado e acompanhado na gestão operacional seguindo métodos e ferramentas abordadas em filosofias de gestão como *Six Sigma* e *Lean Manufacturing*.

O atual estudo propõe analisar e descrever o conceito de variabilidade do tempo em sistemas produtivos assim como a relação do tema com a gestão operacional utilizando técnicas e ferramentas de análise bibliométrica. Inicialmente o estudo apresenta a análise dos indicadores de desempenho bibliométricos tais que: publicações científicas,

citações, fator de impacto, índice h, artigos mais citados, autores mais citados, entre outros. Posteriormente, uma análise bibliométrica é realizada para a identificação dos campos de conhecimento relacionado ao tema e perspectivas futuras do estudo do tema.

3.2.2 Metodologia

Para uma revisão profunda da literatura sobre a gestão da variabilidade do tempo, o estudo propõe uma análise dos indicadores de desempenho bibliométrico e mapeamento do conhecimento por meio de campos conceituais.

Foi utilizado os aplicativos Excel, BibExcel e Pajak para coleta de dados na base de dados *Web of Science (WoS)*. O WoS é a maior base de dados gratuita na comunidade científica e possui integração com os aplicativos utilizados nesta pesquisa. A escolha dos aplicativos para este estudo seguiu a análise comparativa realizada por [Cobo et al. \(2011b\)](#). O *BibExcel* foi escolhido pois é uma ferramenta gratuita e apresenta ferramentas completas para organização e formatação de dados bibliométricos. Nesse estudo o aplicativo foi utilizado para organização dos dados coletados da base de dados WoS. O aplicativo Pajak foi escolhido pois é uma ferramenta gratuita e de fácil integração com a base de dados WoS. Foi realizada a análise de citações, co-citações e campos conceituais. O aplicativo *Excel* foi escolhido devido a facilidade de formatação de planilhas e gráficos e foi utilizado para formatação e apresentação dos resultados obtidos na análise bibliométrica.

As etapas propostas nesse estudo seguem o modelo apresentado por [Cobo et al. \(2011a\)](#):

- Identificação dos temas relacionados ao campo de pesquisa. Nesta etapa é realizado a coleta de dados referentes às pesquisas sobre variabilidade do tempo em sistemas produtivos. A busca na base de dados WoS é realizada por meio de palavras-chaves sobre o tema variabilidade do tempo em gestão de operações nos elementos pre-textuais de título, resumo e palavras-chaves. Posteriormente é realizado uma seleção dos artigos resultantes da busca na base de dados WoS delimitando os resultados para periódicos científicos exclusivamente. Após a delimitação dos tipos de documentos relizados, é realizado um estudo de co-ocorrência de palavras chaves entre os artigos selecionados. Posteriormente, o cálculo de similaridade de trabalhos é realizado por meio da frequência das co-ocorrências das palavras-chaves utilizadas. Por fim, para a identificação de subgrupos a *clusterização* dos temas encontrados é realizado.
- Visualização do mapa de conhecimento e campos conceituais. Nessa etapa a representação gráfica dos temas e subtemas encontrados pela etapa de identificação dos temas relacionados ao campo de pesquisa são elaborados. Um tema é um gráfico que conecta as palavras-chaves definidas por meio da frequência de ocorrência entre os documentos analisados.

- Direcionamento de pesquisas e temas. Os temas analisados são apresentados graficamente por meio da relação do período analisado e a frequência de co-ocorrências das palavras-chaves selecionadas em relação ao campo de pesquisa em variabilidade do tempo e gestão operacional.

3.2.3 Resultados e discussão

Seguindo a metodologia proposta, o estudo avaliou o direcionamento da pesquisa sob o tema *variabilidade do tempo* dos últimos dez anos. Como limitação da fronteira da pesquisa foi definido: i) somente artigos publicados em periódicos científicos serão analisados, ii) o tema em estudo é a variabilidade do tempo na gestão operacional de sistemas produtivos, e iii) somente artigos na língua inglesa.

3.2.3.1 Estudo bibliométrico

As palavras-chaves definida para a busca de artigos que trabalha sob o tema variabilidade do tempo e gestão operacional foram definidas a seguir: foram utilizados as variações de ("*operation* management*" E ("*production time*"OU "*TAKT*"OU "*cycle time*"OU "*process time*"OU "*task time*"OU "*time variability*")) OU ("*discrete production*" E ("*production time*"OU "*TAKT*"OU "*cycle time*"OU "*process time*"OU "*task time*"OU "*time variability*")).

Foi definido a busca do ano de 2010 para o ano de 2020, limitado as categorias do WoS de "Operations Research Management Science (1199 artigos), Engineering Industrial (864 artigos), Management (846 artigos) e Engineering Manufacturing (709 artigos). A figura 8 mostra a quantidade de publicações de artigos científicos por ano sobre o tema "tempo de produção e "gestão operacional". Mesmo que o tema em estudo é a variabilidade do tempo, ficou definido como tema principal "tempo de produção". Nesse sentido a combinação do tema "gestão operacional" e "tempo de produção" é realizada, separando os tipos de tempos em palavras-chaves. Os tipos de tempos foram definidos de acordo com um estudo preliminar das filosofias de gestão *Six Sigma*, *Lean Manufacturing* e *Total Quality Management* que resultaram nos termos utilizados.

Analisando o mesmo período, a figura 9 mostra a quantidade de publicações por periódicos. O estudo apresenta os periódicos que possuem mais de 20 publicações durante a década analisada. Esta análise ressalta o periódico *International Journal of Production Research*, que apresenta a maioria das publicações sob o tema estudado. Para maior compreensão do tema em relação aos periódicos, o quadro 6 apresenta os 4 periódicos que mais publicaram sob o tema em estudo e o respectivo fator de impacto. A comparação pelo fator de impacto é necessária para analisar a importância do tema para a comunidade científica.

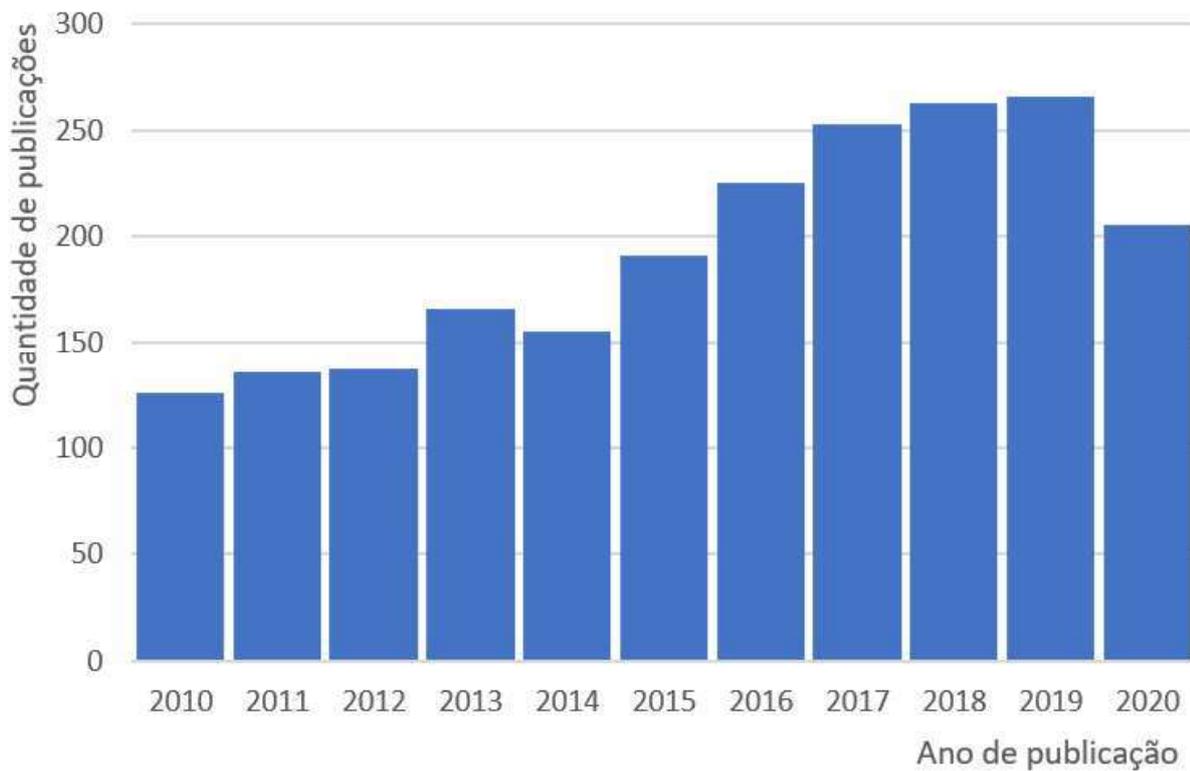


Figura 8 – Quantidade de publicações por ano sobre o "tempo de produção" e "gestão operacional".

Fonte. Elaborada pelo autor.

Quadro 6 – Relação de periódicos com mais publicações sob o tema de "tempo de produção" e "gestão operacional".

Nome do periódico	Editadora	Quantidade	F.I.
International Journal of Production Research	Taylor & Fancis	202	4,577
International Journal of Production Economics	Elsevier	109	5,134
European Journal of Operational Research	Elsevier	94	4,123
Computers & Industrial Engineering	Elsevier	68	4,135

Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 10 apresenta os autores mais citados sob o tema em estudo.

3.2.3.2 Análise dos campos conceituais

A análise dos campos conceituais foi realizada utilizando o aplicativo VOSViewer. A figura 12 apresenta os campos conceituais com base na co-ocorrências de palavras chaves entre os artigos selecionados. Nesse sentido, foram definidos 5 campos conceituais: i) modelos de gestão, ii) gestão da cadeia de suprimentos, iii) performance, iv) otimização, e

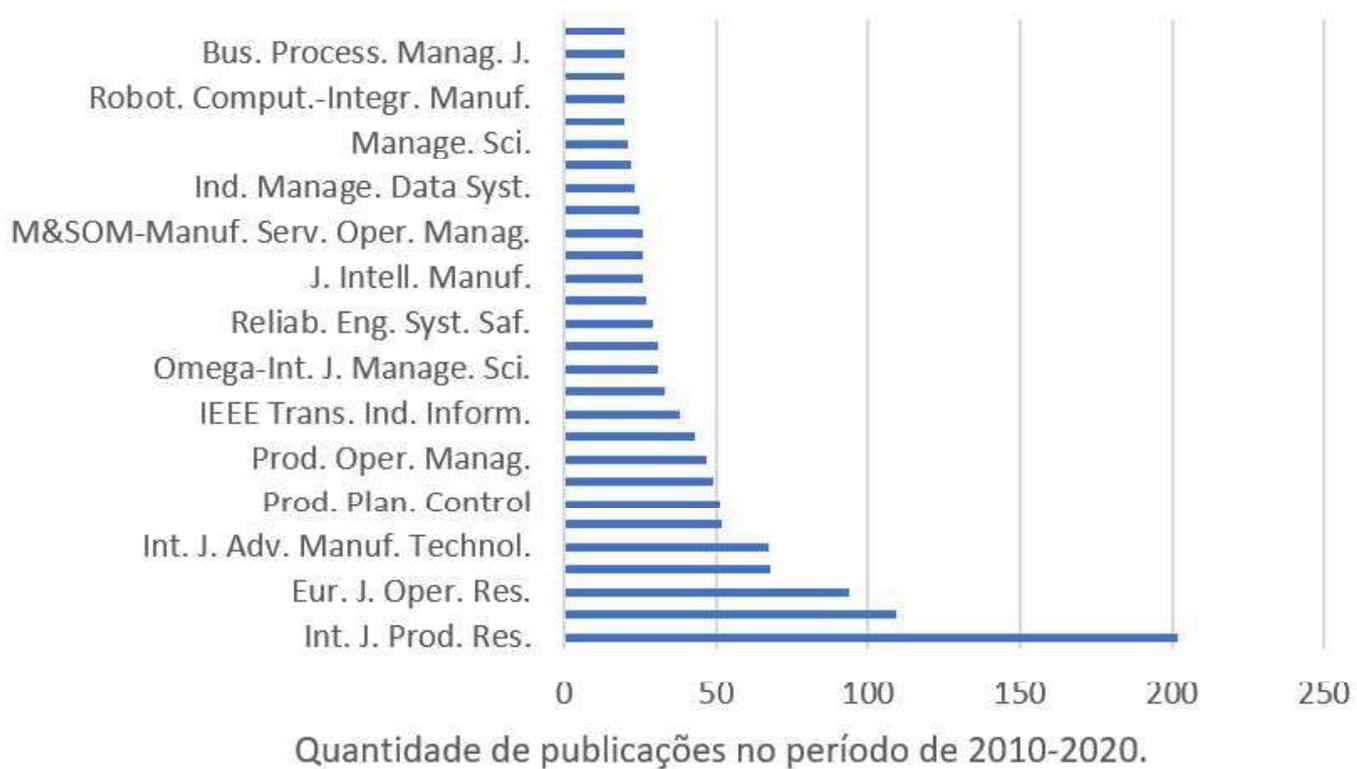


Figura 9 – Quantidade de publicações por ano sobre o tema "tempo de produção" e "gestão operacional".

Fonte: Elaborada pelo autor.

v) sistemas. Os campos conceituais performance e otimização serão analisados em conjunto devido à forte relação dos temas apresentados. Foram descartados os campos conceituais que não fazem parte da rede e/ou apresenta poucas ligações entre os termos abordados. Os campos conceituais encontrados pela análise de co-ocorrência permitem verificar o direcionamento da pesquisa sob o tema de variabilidade do tempo e gestão operacional nos últimos dez anos.

Campo conceitual "modelo de gestão"

Tupper (2011) define modelo como a representação abstrata ou simbólica da realidade. Mais especificamente em modelos de gestão, Baldwin, Baldwin e Sen (1991) apresentam um estudo sobre o direcionamento da pesquisa em modelos de gestão. O autor associa modelos de gestão com a gestão de um sistema de gestão, sendo que o modelo é um recurso chave para a tomada de decisão. A gestão dos dados em um modelo de gestão é necessário quando se busca a eficiência da organização. Um modelo é apresentado pela relação social (colaboradores), econômica (recursos financeiros) e tecnológica. Entende-se que a pesquisa realizada sobre variabilidade do tempo e gestão operacional tem um direcionamento no desenvolvimento ou compreensão de modelos de gestão, associando a

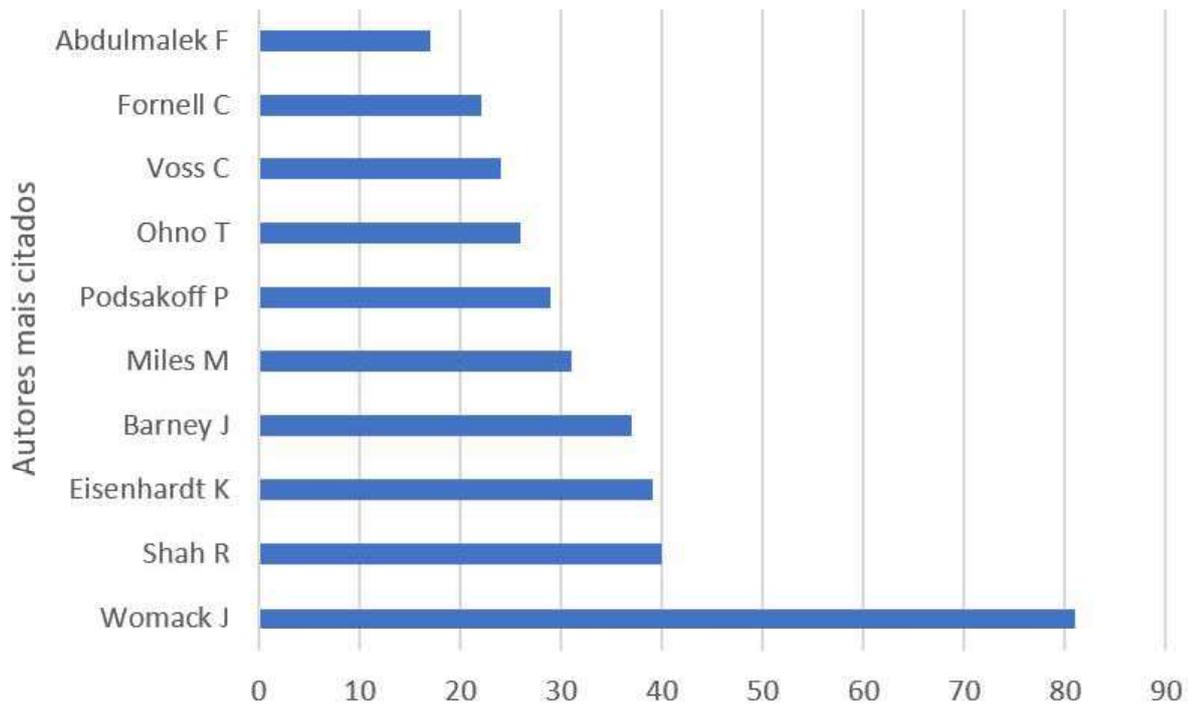


Figura 10 – Autores mais citados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

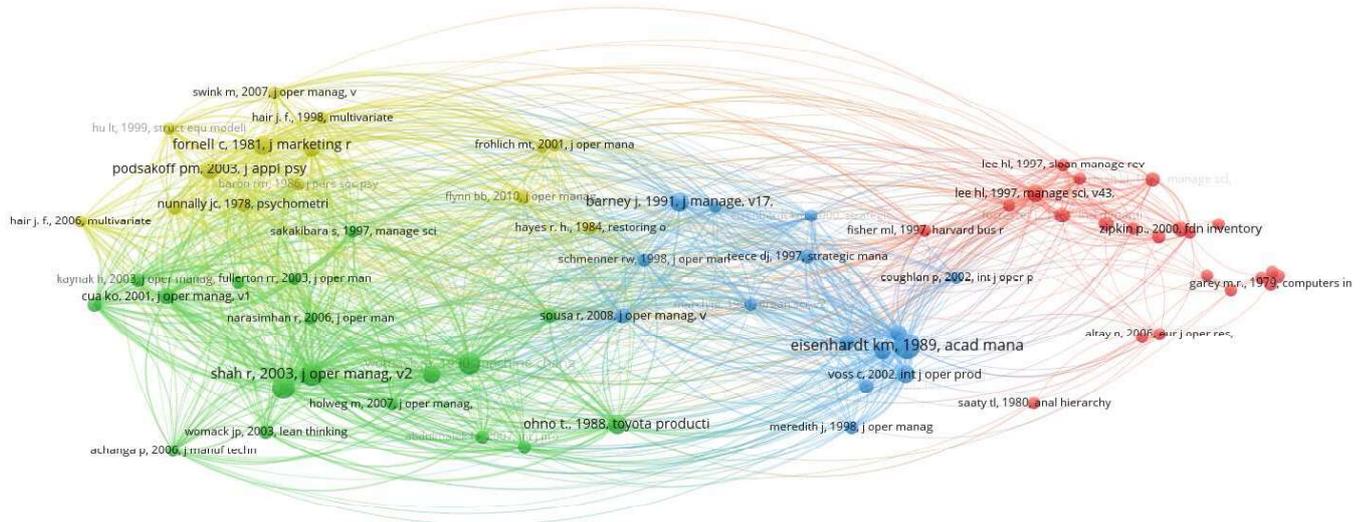


Figura 11 – Análise das co-citações do artigos selecionados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

gestão operacional à modelos que buscam analisar o impacto da variabilidade do tempo nas organizações. O campo conceitual foi limitado a gestão operacional e analisado nos seguintes temas: balanceamento de linha, redução de tempo de produção e programação da produção.

Por outro lado, a redução do tempo de produção também é tema recorrente em pesquisas científicas. A redução do tempo ocorre devido às mudanças de paradigmas no decorrer da evolução da gestão da produção. [Stalk \(1988\)](#) relata as mudanças de paradigmas em sistemas de produção e os elementos analisados para manter a vantagem competitiva das organizações. A evolução dos paradigmas ocorreu com base na mudança da produção em série à manufatura flexível, transformando a tomada de decisão de organizações do foco em variedade de produto para a redução do tempo de fabricação e entrega do produto ao cliente. Esse conceito é amplamente estudado, baseado no *lead time* que é definido como o tempo necessário desde o recebimento da matéria prima até a entrega do produto ao cliente. [Hum e Sim \(1996\)](#) apresenta uma revisão de literatura sobre a competição de organizações baseado no tempo. Além de apresentar as mudanças de paradigmas que justificam a necessidade de redução do tempo de todos os fluxos no sistema, o autor apresenta as implicações na gestão das organizações: i) A necessidade de mudança do foco em custo de produção para o tempo de produção; e ii) a necessidade de aprender como se tornar competitivo no mercado baseado no tempo.

Por fim, a programação da produção é um processo de tomada de decisão presente em sistemas de manufatura e serviços industriais. [Pinedo \(2016\)](#) define como a alocação de recursos em atividades do sistema de manufatura relacionado com o tempo disponível de produção. O autor enfatiza sobre a importância da programação da produção no processo de tomada de decisão do sistema em estudo assim como no impacto sobre a logística e distribuição. Além da relação com o tempo de produção, o tema em estudo apresenta relação com balanceamento de linha que foi apresentado anteriormente. O processo de tomada de decisão busca a eficiência do uso dos recursos disponíveis e a entrega do produto dentro do tempo esperado. A pesquisa sobre o tema apresenta métodos de otimização do uso dos recursos em diferentes áreas. Por exemplo, [Lei \(2009\)](#) apresenta uma classificação dos problemas de alocação de recursos baseado na característica do tempo de produção. Os problemas são definidos no modelo de tomada de decisão e apresentados como determinístico e estocástico. Para o autor, os recursos que são considerados para a busca da solução ótima definem o direcionamento dos métodos a ser utilizados. Ademais, diante da complexidade dos sistemas de manufatura, o autor enfatiza o uso de métodos multiobjetivos como proposta para soluções assertivas quanto às necessidades apresentadas. Os métodos apresentados são algoritmos genéricos ([KöKSALAN; Burak Keha, 2003; JOLAI et al., 2007; HARAL et al., 2007; LIN; LIN, 2015; COCHRAN; HORNG; FOWLER, 2003; CHANG; CHEN; LIN, 2005](#)) e métodos heurísticos ([AZIZOGLU; KONDAKCI; KöKSALAN, 2003; CHEN, 2007; T'KINDT; BILLAUT; PROUST, 2001; EREN, 2009](#)). Importante ressaltar que a programação da produção está relacionada com a gestão da informação do sistema de manufatura. Além da alocação de recursos, o fluxo de informação é um fator importante e com grande interesse científico. [Parente et al. \(2020\)](#) apresenta uma revisão de literatura da programação da produção na indústria 4.0. Inicialmente o autor destaca a complexidade

dos modelos de tomada de decisão e o uso de métodos matemáticos para encontrar soluções ou cenários. O autor destaca também da necessidade de programação da produção em tempo-real e da necessidade de analisar o problema para toda a organização e não avaliar de forma pontual. Ademais, o modelo de tomada de decisão também é afetado, inicialmente pelo avanço tecnológico que permite sistemas distribuídos e, posteriormente, pela programação da produção flexível e análise do *trade-off* nas dimensões de desempenho analisadas no sistema de manufatura.

As mudanças nos paradigmas de gestão baseado no tempo mostra que a evolução científica e empírica da gestão da produção converge à redução do tempo. O tempo de produção é avaliado em diversas vertentes, sendo que todos estão incluídos no sistema produtivo, especificamente nos fluxos de material e informação.

Campo conceitual "gestão da cadeia de suprimentos"

De acordo com [Mentzer et al. \(2001\)](#), gestão da cadeia de suprimentos é definido como um conjunto de organizações envolvidos no fluxo de produtos, processos, serviços, finanças e/ou informação de uma fonte até o cliente . A pesquisa sobre o tema é apresentada em diversas áreas de atuação por meio de análise da sua eficiência, propostas de modelos e estruturação da cadeia de suprimentos e utilização de métodos para a otimização. Considerando que a cadeia de suprimentos analisa fluxos de materiais e/ou processos desde a fonte até o cliente, a relação deste campo conceitual com variabilidade do tempo e gestão operacional é direta. Por um lado a análise e estudo dos fluxos de materiais, considerando desde os insumos de produção até a entrega do produto final ao cliente. Por outro lado, a dependência direta entre o tempo necessário para realizar a entrega do produto ou processos que impactam diretamente no tempo de entrega do produto. [Asgari et al. \(2016\)](#) apresenta uma revisão de literatura de 1997 a 2015 com o objetivo de alinhar a evolução do tema e perspectivas de futuras pesquisas. O autor apresenta as áreas e sub-áreas da gestão da cadeia de suprimentos em relação ao período de publicações. As áreas em comum com a gestão de operações são: i) estoques, ii) performance, iii) informação, iv) processos, v) suprimentos, vi) gestão da qualidade e vii) programação. O autor também ressalta os estudos realizados na área de gestão e liderança, que são temas integradores à todo sistema produtivo. Ademais, modelos de tomada de decisão também são temas relevantes, abordando os três níveis de decisão tais que operacional, tático e estratégico.

Inserido nas áreas em comum com a gestão de operações, o autor apresenta as ferramentas e métodos aplicados durante o período em estudo. As ferramentas e técnicas relevantes à gestão da produção e associadas a variabilidade do tempo são: otimização, simulação, teoria dos jogos e previsão. A área de otimização da cadeia de suprimentos busca minimizar os custos ou maximizar o faturamento da organização. [Aslam e Amos \(2010\)](#) analisam métodos multiobjetivos para a otimização da cadeia de suprimentos, apresentando os métodos em modelos matemáticos e de simulação. A

modelagem matemática está contida no campo da pesquisa operacional, tendo como principal direcionamento modelos de programação linear inteira, programação inteira mixa não-linear e programação multiobjetiva. Os modelos de simulação são caracterizados como determinísticos ou estocásticos, e utilizam como embasamento matemático a teoria das filas e redes de Petri. [Fagundes et al. \(2020\)](#) apresentam o mapeamento de literatura e perspectivas de pesquisa sobre riscos na cadeia de suprimentos. Por meio de uma análise bibliométrica da literatura, o autor define três campos mais influentes no desenvolvimento de modelos de tomada de decisão: modelos multicritérios, modelos estocásticos e modelos computacionais de simulação e otimização.

A análise da variabilidade do tempo na gestão da cadeia de suprimentos é essencial para a busca da eficiência das organizações inseridas no sistema em estudo. Importante ressaltar que o campo conceitual "gestão da cadeia de suprimentos" está contido no campo conceitual "modelo de gestão", logo os métodos e ferramentas utilizados tem forte relação quanto a busca de maior eficiência na tomada de decisão.

Campos conceituais "performance e otimização"

Para atingir a performance operacional deve-se inicialmente identificar as dimensões de desempenho. Neste estudo, os campos conceituais performance e otimização são analisados em conjunto devido a alta abrangência do tema na pesquisa científica quanto a sua aplicação na gestão operacional e análise da variabilidade do tempo. [Neely, Gregory e Platts \(2005\)](#) apresentam por meio de uma revisão de literatura a estruturação de um sistema de mensuração de performance, destacando a definição de mensuração de performance como a quantificação da eficácia e eficiência de uma ação. Logo, um sistema de mensuração de performance é um conjunto de métricas usado para a quantificação da eficácia e eficiência das ações contidas no sistema. [Shepherd e Guenter \(2006\)](#) também apresentam uma revisão de literatura, destacando três níveis de mensuração da performance tais que: mensuração individual de performance, sistema de mensuração de performance e relação com o ambiente interno e externo a organização. Para tal, o autor define uma taxonomia para agrupamento das métricas de performance de uma organização. Com base na revisão de literatura realizada o autor apresenta os seguintes agrupamentos: custo, tempo, qualidade, flexibilidade e inovação. As variações de métricas são apresentados de acordo com o objetivo da pesquisa. De forma geral o objetivo é de otimização de um processo, baseado na minimização do uso de recursos e maximização da métrica em análise. Por exemplo, [Irfani, Wibisono e Basri \(2019\)](#) analisam a integração de métodos, sistemas e a mensuração da performance baseado na complexidade e grande quantidade de indicadores de desempenho existentes. O autor afirma que não há pesquisas suficientes na área de desenvolvimento de sistemas de mensuração que integra a estrutura de um sistema de performance e os métodos apropriados para a tomada de decisão. Para tal, gestores devem adaptar métodos existentes, justificando a necessidade de sistemas

dinâmicos. Ademais, a abordagem empírica e métodos matemáticos são predominantes nos artigos analisados por [Gopal e Thakkar \(2012\)](#), confirmando que o desenvolvimento de *framework* para mensuração da performance não tem a mesma abrangência comparado aos temas abordados por pesquisadores.

A relação entre os campos conceituais performance e otimização está intrínseca em pesquisas que buscam a estruturação de sistemas dinâmicos para a tomada de decisão. Entre outras métricas apresentadas, [Irfani, Wibisono e Basri \(2019\)](#) apresentam a relação do tempo necessário para a entrega de um produto, associando os tempos envolvidos no sistema logístico e a performance da organização. Nesse sentido, é possível associar a análise da performance operacional com os tempos inseridos no sistema.

Campo conceitual "sistemas"

Para identificar os temas relacionados ao campo conceitual sistemas, foi realizado a revisão dos artigos associados com sistemas de manufatura na gestão de operações. Os sistemas de manufatura são amplamente estudados por meio de sistema de manufatura flexível. A utilização flexível dos recursos para aumento da customização da produção é um tema recorrente entre os artigos analisados. [Esmaelian, Behdad e Wang \(2016\)](#) apresenta a evolução e o futuro dos sistemas de manufatura, identificando os temas mais pesquisados na área de sistemas produtivos tais que: sistemas de armazenamentos, sistemas de manuseio de materiais, sistemas de manufatura e controle, robótica industrial e processos de manufatura.

O campo conceitual de sistemas também está relacionado com a integração de tradicionais filosofias de gestão com a indústria 4.0. Por exemplo, [Tortorella e Fettermann \(2017\)](#) realizou uma pesquisa de campo sobre a integração da produção enxuta e a indústria 4.0 no contexto industrial brasileiro, concluindo que gestores operacionais realizaram a integração da filosofia de produção enxuta com a indústria 4.0. A indústria 4.0 se caracteriza por sistemas de informação e de tomada de decisão, distribuídos ou não que permitem maior autonomia de tomada de decisão aos sistemas e maior eficiência quanto aos resultados esperados. ([OZTEMEL; GURSEV, 2020](#)) definem a filosofia de indústria 4.0 como a transformação da manufatura dominada por máquinas e equipamentos para a manufatura digital. Ademais, entende-se que a manufatura digital tem como base a troca de informações em tempo real, sendo necessário o desenvolvimento de sistemas dinâmicos com respostas em tempo real às interferências no processo.

Ademais, o acesso a tecnologia auxilia na integração da informação aos equipamentos e máquinas, tornando este tema de alta relevância na comunidade científica. Logo, relacionar a indústria 4.0 com sistemas de gestão e, por consequência, tomada de decisão é um tema amplamente estudados. [Piccarozzi, Aquilani e Gatti \(2018\)](#), por meio de revisão de literatura, apresentam 10 áreas em destaque nos estudos relacionados com a indústria 4.0: métodos de produção, modelos de negócio, estratégias, impactos e consequências da

indústria 4.0, recursos humanos, pequenas e médias empresas, cadeia de suprimentos, sustentabilidade, sistema de informação e inovação social. De acordo com o refinamento do tema realizado para gestão de operações e variabilidade do tempo, as áreas de métodos de produção, cadeia de suprimentos e sistemas de informação mostram que a integração de sistemas com a gestão de operações é tema recorrente na comunidade científica.

3.2.3.3 Pesquisas futuras

Os campos conceituais estudados nesse estudo permitiu identificar as áreas de pesquisas que necessitam mais estudos e pesquisas. Primeiramente, destaca-se a abordagem de modelos de gestão no que tange a cadeia de suprimentos, tema recorrente entre pesquisadores. Ademais, a pesquisa mostrou que métodos quantitativos são predominantes na pesquisa, contudo, métodos qualitativos não são considerados relevantes para a comunidade científica.

Por outro lado, apesar da análise da performance e otimização de operações serem amplamente estudados, o estudo apresentou que a complexidade de análise da grande quantidade de dados e informação é um desafio para os pesquisadores. Logo, torna-se necessário apresentar a integração dos métodos inseridos em modelos de gestão, permitindo o uso de métodos qualitativos, quantitativos ou híbridos.

Os elementos apresentados no estudo devem ser integrados, ou seja, o desenvolvimento e sistematização de modelos de gestão operacional com os métodos que propõe a solução de problemas e a mensuração da performance necessita de maior aprofundamento quanto a sua aplicação em sistemas reais e dinâmicos.

3.2.4 Conclusão

Para aumentar a eficácia e eficiência da tomada de decisão, a gestão operacional deve ser integrada à gestão da informação. Definir os parâmetros operacionais para auxiliar na tomada de decisão é uma tarefa complexa quando se analisa o impacto da decisão em todas as dimensões de desempenho da organização. Esse estudo realizou uma revisão bibliométrica e análise de campos conceituais de publicações científicas dos últimos dez anos sob o tema de gestão operacional e análise de variabilidade do tempo.

A análise bibliométrica e dos campos conceituais mostraram resultados relevantes para a pesquisa científica, ressaltando sobre o estudo da cadeia de suprimentos e o uso predominante de métodos quantitativos para a busca de otimização e soluções de problemas. Os campos conceituais encontrados foram: modelos de gestão, gestão da cadeia de suprimentos, performance e otimização e sistemas. Os campos conceituais apresentaram relação entre si, quando da necessidade de sistematização dos modelos de gestão e do fluxo de informação, resultando da necessidade de sistemas dinâmicos e da digitalização

da informação, seguindo a filosofia da indústria 4.0.

Esse estudo se limitou a identificar os campos conceituais para a gestão operacional e análise de variabilidade do tempo. Propõe-se o desenvolvimento de sistemas dinâmicos e flexíveis para permitir uma análise do desempenho de organizações e comparação com outros métodos quantitativos e qualitativos.

3.3 Artigo 02 - Gestão da variabilidade do tempo e análise de *trade-off* da eficiência da qualidade, produtividade e manutenção.

Resumo

Embora as filosofias de gestão tenham métodos bem consolidados para modelos de decisão, as relações de *trade-off* não são consideradas no nível de gestão operacional. Neste estudo, propomos a utilização da gestão da variabilidade do tempo (TVM) para conferir a eficácia e, por consequência, analisar a eficiência das decisões de gestão. A estrutura proposta integra uma análise estocástica de processo e gestão da variabilidade do tempo para gerenciar a variabilidade do processo e analisar o impacto nas dimensões de desempenho qualidade, produtividade e manutenção. O *framework* utiliza gráficos de controle para análise da variabilidade em cada estação de trabalho e, posteriormente, analisa o tempo do operador para executar um processo de montagem para seis estações de trabalho. Ao associar a TVM a uma matriz relacional de dimensões de desempenho, podemos identificar e analisar os processos operacionais e avaliar a eficácia e eficiência do sistema de produção. Os processos são caracterizados e avaliados por meio de simulação estocástica, resultando em uma análise de *trade-off* do desempenho da organização por meio de um modelo qualitativo de entrevista a especialistas. Um gráfico relacional das dimensões de desempenho mostra que o desempenho da produtividade e da manutenção dependem do gerenciamento da variabilidade do tempo, enquanto a qualidade tem um impacto mínimo sobre as decisões operacionais. O *framework* proposto colabora para modelos de gestão operacional e permite a aplicação de modelos complexos para análise de variabilidade no tempo e desempenho organizacional.

Palavras-chave: Trade-off; sistema de apoio a decisão; variabilidade do tempo; produção discreta

3.3.1 Introduction

Because of the complexity of the current market, where several factors are considered as necessary for competitiveness, companies must look forward beyond traditional methods to increase their efficiency. The usual management paradigms regard the manufacturing process as part of a systemic production chain, which accounts for not only processes inside the company but also all factors that affect the product delivered to the customer. Whereas industries are looking for ways to efficiently and effectively use their resources (COLLEDANI et al., 2014), management strategies consider in a holistic view every activity that involves the production system. Thus, efficiency and efficacy along the production chain are the main objectives of a decision maker to reach a competitive advantage.

To increase decision efficiency, processes must be evaluated based on interaction.

Thus, to achieve better results, managers should use a systemic decision over the entire production system (ANDERSSON; BELLGRAN, 2015). The trade-off relation in a decision-support system (DSS) must then be considered in all organization levels. The complexity of system analysis or of the decision-making process occurs because several elements inside and outside of the organization are interrelated (FANG; MARLE, 2012; MOKTADIR et al., 2018; MAGALHÃES; DANILEVICZ; PALAZZO, 2018; RUIZ et al., 2018). Some authors explain this principle by proposing frameworks (SANT'ANNA, 2015) that consider the complexity of a holistic DSS due to a large number of variables. The use of data analysis to support a decision-making process is limited by a few parameters (MACCORMACK et al., 2003; FRANKE; CICCOCZI, 2017) and, by consequence, affects the decision that is made. In this study, we analyse the trade-off behaviour between performance dimensions, evaluate the efficiency of a DSS integrated with trade-off analysis, and identify activities with a high sensitivity to value-added interactions on the production system.

In the operational research field, mathematical models have been proposed for analysing multicriteria and multi-objective models. Multicriteria decision-making (MCDM) is a subfield of operational research that is widely used in several research areas to analyse conflict decisions and provide optimal solutions based on a large number of variables (DANESH; RYAN; ABBASI, 2018; COELHO; LANGE; COELHO, 2016; YU et al., 2018; MARDANI et al., 2018; BANASIK et al., 2016; KAYA; ÇOLAK; TERZI, 2018; SITORUS; CILLIERS; BRITO-PARADA, 2019). (VIVAS et al., 2019) proposes the use of analytical hierarchy process (AHP) to analyze sustainable process which inserts beyond economic factors, environment and social performance. (POPOVIC; KUZMANOVIC; SAVIC, 2018) and (CASTRO; PARREIRAS, 2018) develop a comparative study of AHP with a large literature review of multicriteria approaches. An application of these methods to operational tasks is necessary to identify and evaluate performance indicators and drive managers to make better decisions. We propose a framework that allows the use of MCDM to analyse the trade-off behaviour on organization performance. (WANG et al., 2018) proposes an integrated method of multicriteria uses as proposed in this research, however, the integration to trade-off decisions proposed in this research collaborates more efficiently to better decisions. We also examine the trade-off behaviour between performance dimensions and evaluate the efficiency of a DSS integrated with a trade-off analysis of time variability management and operational performance. A literature review and relation with this research is important to the framework proposal and is described in the subsequent sections.

3.3.1.1 Operational performance considerations

The main performance dimensions that have an impact on the efficient and effective use of resources are cost, quality, reliability, flexibility, and speed (SANTA et al., 2010). Some authors assign these dimensions to quality, productivity, and maintenance

performance (COLLEDANI et al., 2014). The decision-making process on the performance of an organization is involved in the strategic, tactical, and operational management levels. A DSS has different impacts on these management levels; for example, in a bottom-up strategy, a systemic decision, which accounts for the entire production system and not only the resolution of a specific problem, has a significant impact on the strategic-level decisions of a company. Even the current management paradigms consider strategic decisions on all management levels (GROSSWIELE; ROEGLINGER; FRIEDL, 2013). In the operational level, decisions for improving performance dimensions are handled separately (MITRA et al., 2015).

Further, to promote better results, the data and information used in a DSS are not treated as a system. (WANG; WANG; ZHANG, 2019) analyzes methods and theories applied to flexible processes and operations which lead to significant impact on the manufacturing performance. Flexible processes is highly dependent of information system and, by consequence, the systematisation of information in a management decisions must be considered where performance dimensions will be improved and, by consequence, grant better production quality (BECKETT; WAINWRIGHT; BANCE, 2000). Furthermore, the bottom-up strategy is usually used as the management method for operational decisions. Thus, current improvement philosophies emphasise bottom-up organisational learning for continuous improvement, in a way that accounts for cross-functional communication and feedback on all organizational layers (KIM; STING; LOCH, 2014). Consequently, even though the strategic level defines the goals and objectives of an organization, on the operational level, the efficiency of operational decisions are required to achieve those objectives (PLAZA; ZEBALA; MATRAS, 2018).

In addition, even though operational performance is consistently involved in research about management (PARAST, 2011), operations-based factors in connection to a systemic decision (CHAVEZ et al., 2015) are not included. A cross-functional approach (PRAJOGO et al., 2018) to project management (XU et al., 2014) analyse the same problems regarding decisions over an entire system (PROEHL, 1996; EMERY, 2009; SANTA et al., 2010; POPOLI, 2019; REGALIZA et al., 2016). A DSS based on the main performance dimensions is required in the operational level but has not been considered in past studies.

3.3.1.2 Trade-off and unbalanced systems relationship

The alignment between operations and trade-off behaviour is essential to management decisions (PARAST, 2011). For example, quality improvement impacts maintenance tasks and production planning (WEISS; SHARP; KLINGER, 2018; RIVERA-GOMEZ et al., 2020). Based on (GARDNER, 2020), where it focus on understanding the trade-off between feedback on conformance quality and production speed, a slack in resources which represents cost to an organization is also regarded as a trade-off relation and is inherent

to or inevitable in a process (MADAPUSI; D'SOUZA, 2012; PARAST, 2011). When the impact of a decision on each of the performance dimensions are then involved, it is also a trade-off relation (ROSENZWEIG; EASTON, 2010) (Mrad et al., 2019). This systemic view is recognized by managers at a strategic level but not evident in operational decisions. In general, improvement based on a non-systemic relation causes negative impact over the whole production system. Those decisions cause the system to become unbalanced in different manners (KEMPENAERS et al., 1994a); for example, operations planning and scheduling under the assumption of equipment being permanently available will be unbalanced by disruptions to the manufacturing operation (NEGAHBAN; SMITH, 2014; AGHEZZAF; JAMALI; AIT-KADI, 2007; GEBENNINI et al., 2017). This example shows clearly how a trade-off relation must be included in the decision-making process.

In general, unbalanced systems are caused by non-systemic decisions. Because of the several parameters considered in a DSS that support the analysis of a problem, the complexity of a decision-making model can cause system disruptions (FRAMINAN; FERNANDEZ-VIAGAS; PEREZ-GONZALEZ, 2019). In improvement philosophies, such as lean manufacturing or Six Sigma, measurement, control, and improvement do not have the same results regarding each of the performance dimensions.

Thus, the integration of a trade-off relation into the DSS must be considered. Even when it is substantially complex to analyse a considerable number of parameters to solve specific problems (SANT'ANNA, 2015), fewer or wrong parameters will not permit decisions toward improvement to be made (BOKRANTZ et al., 2017). On a large scale, this condition will have critical impact on system balance and on its high sensitivity to problem-solving parameters, specifically in process control and analysis. Thus, when this relation is included into DSS parametrization, a systemic model toward efficiency, as an improvement solution, will be reached.

3.3.1.3 Time variability management (TVM)

For many of the usual parameters in industrial management, time analysis is used in almost all improvement methods (PRAJOGO et al., 2018; PRAJAPAT; TIWARI, 2016). Time variability is considered a problem by managers because it causes operational problems, such as bottlenecks, equipment failures, or product defects (MONTGOMERY, 2009; JUNIOR et al., 2019). In an analytical approach, time variability is a parameter to be controlled because it is critical in making decisions on productivity performance and, consequently, profitability. Despite the existence of several studies regarding techniques and methods on time variability reduction, the use of these methods in ways that involve the trade-off decision is still unexplored (KANNAN; TAN, 2005). Then, time variability management (TVM) is beyond than time variability reduction, where it also includes in the systemic approach the time variability behavior to grant control of the process, and

consequently promotes better results to the entire production system and not only for a specific problem-solving task. Therefore, TVM is beyond parameter analysis to reduce process time; it collaborates with the rest of the system as a competitive advantage tool to produce better results in the decision-making process.

Because of the complexity of the DSS, stochastic analysis of variability reduction efforts is considered (FERRO; COOPER; ANHOLON, 2017; YEGUL et al., 2017; LAYEB et al., 2018). TVM is a helpful tool for improving the process in a systemic approach. Traditionally, companies engage in stochastic studies by developing deterministic models to support their decisions (KARMARKAR; KEKRE, 1987; DEIF; ELMARAGHY, 2014; YANG et al., 2017), but involve little variability analysis in their key performance indicators. Authors argue about the use of stochastic behaviour (SCHARDONG et al., 2018) to develop parameters to be used as measurements in the production system. For example, before the use of discrete simulation, performance indicators were calculated via descriptive statistics and then used as indicators to propose changes. TVM involves stochastic and deterministic analyses that account for variability and trade-off relations, which is different from traditional management that seeks reduction of time variability without regard for any trade-off relations, which, by consequence, decreases decision efficiency. Furthermore, TVM manages variability by involving trade-off relations between performance dimensions and deterministic parameter behaviour concerning the entire system (CHOE; BOOTH; HU, 1997).

3.3.2 Framework proposal

The use of TVM as a competitive advantage is a solution for creating better decisions under current management paradigms. In this study, we seek to examine a decision tool using traditional improvement methods and involve collaboration with the rest of the production system through the development of a new DSS tool that considers trade-off relations in the decision-making process. Through the use of TVM as a necessary condition for making better decisions, a trade-off analysis is expected to be incorporated.

This analysis comprises a systemic and multicriteria approach to support better management decisions regarding performance dimensions. The systemic approach is defined with consideration for qualitative and quantitative relations, using analytical methods for TVM and empirical approach to multi-criteria decisions.

This model has three premises, which consolidate the decision-making framework:

1. Bottom-up decisions, i.e., decisions are made from the operations-based level and are used to the higher levels according to their needs.
2. The framework allow to insert a large number of performance factors but to validate

in this research the quality, productivity and maintenance dimensions are defined by (COLLEDANI et al., 2014).

3. Output of this framework results in a trade-off analysis that supports the decision process into the operational management level.

According to the literature, strategic decisions have different sensibilities into the lower levels (i.e., tactical and operational), which can result in negative effects when these decisions are regarded separately without consideration for the impact on all performance dimensions. At present, the concept of operational decisions does not consider trade-off relations and is dependent on operators that need to execute, monitor, or adjust equipment (MÜLLER; OEHM, 2018; El Mouayni et al., 2020). For example, decisions made regarding quality, productivity, and maintenance do not account for aspects that involve systemic decisions between these areas (COLLEDANI et al., 2014). Figure 13 shows a traditional decision-support model involving productivity, quality, and maintenance decisions.

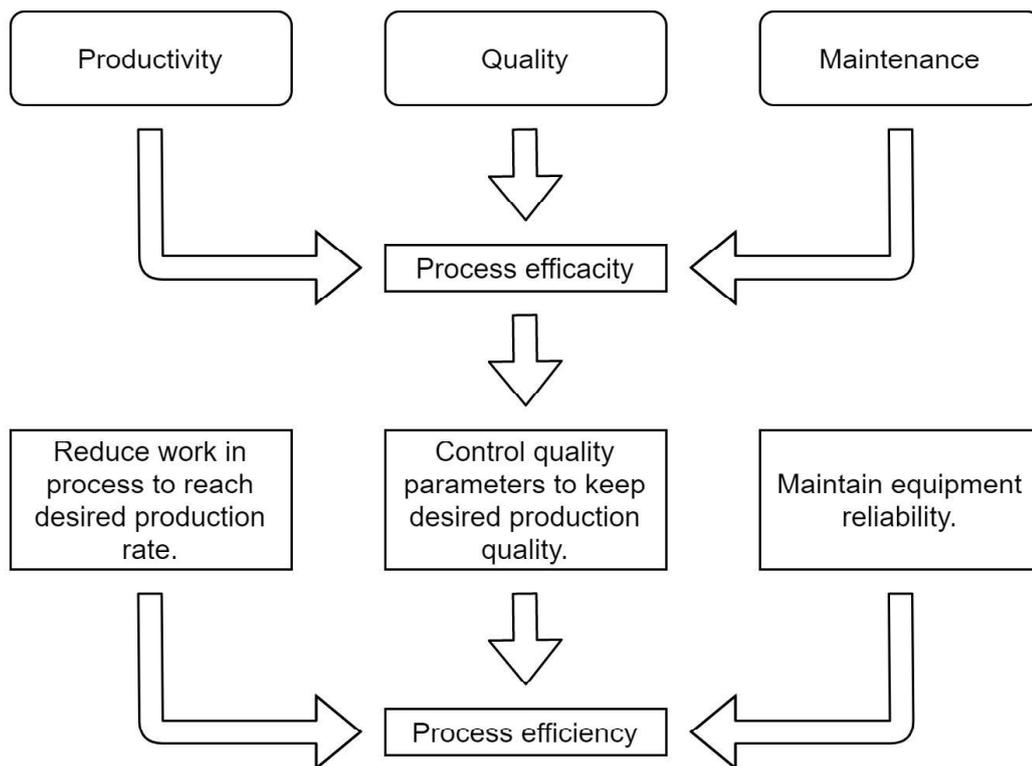


Figure 13 – Traditional decision structure.

Source: Author.

To achieve process efficiency, each of the performance dimensions has a ‘stand-alone’ decision-making model (SWINK; NARASIMHAN; KIM, 2005). Furthermore, to improve a DSS at an operations-based level, trade-off relations between the areas involved must be considered. The relationships between quality, productivity, and maintenance are defined based on common parameters in the decision-making process, where the impact over each

of the parameters is examined (TAN; WANG, 2010). This approach considers a holistic view of the organization, which is different from existing improvement philosophies that include systemic relations between processes but do not use, for example, analytical tools to perform a holistic analysis (SARTAL et al., 2017). Thus, the decision framework has the common parameters of each of the performance dimensions (ARINEZ et al., 2010; ROBSON; MACINTYRE; TRIMBLE, 2013; WEINSTEIN; CHUNG, 1999; HU; HE, 2014) and supports the conceptual model shown in Figure 14. The proposed framework includes

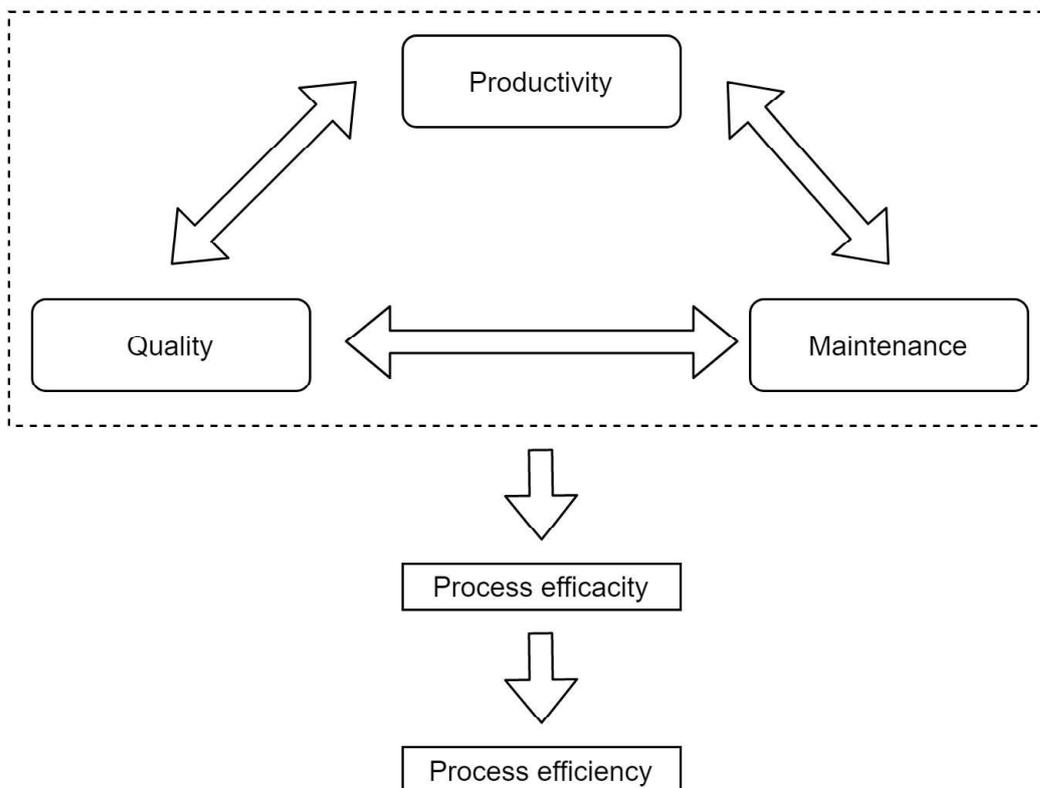


Figure 14 – Trade-off decision structure involving performance dimensions.

Source: Author.

the concepts of TVM and trade-off analysis into a real-time data analysis by integrating a system for assisting operators in the execution of tasks, as defined in Figure 15. This DSS tool then analyses the data of operations by modelling the relationships between operators, resources, and time. Further, the framework generates a trade-off analysis for each operation-based activity to identify the process efficiency in terms of the performance dimensions. The framework structure is illustrated in Figure 25.

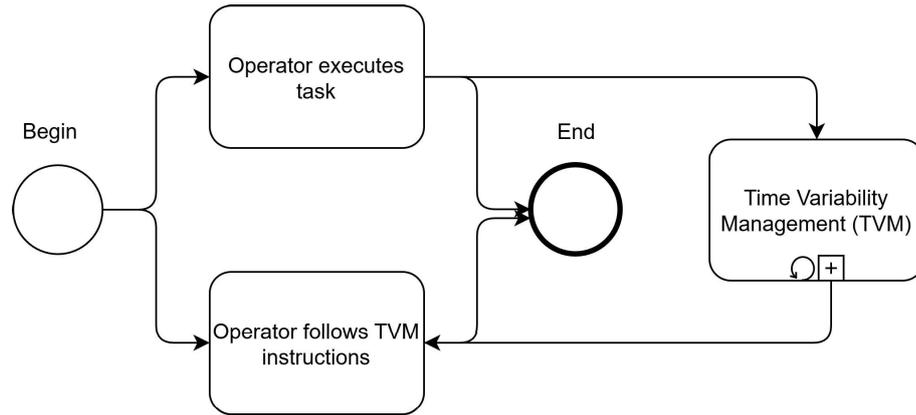


Figure 15 – Operator decisions assisted by TVM.

Source: Author.

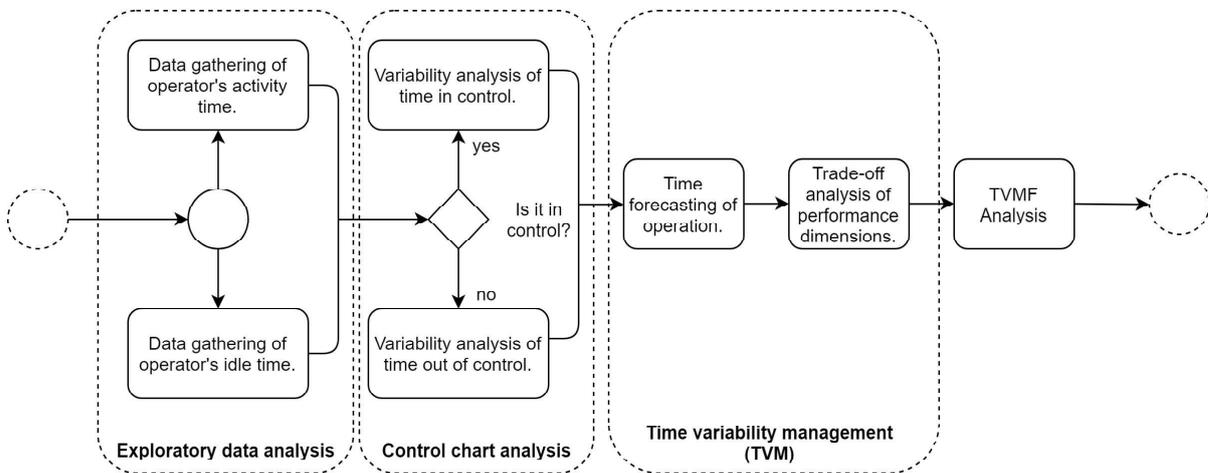


Figure 16 – Proposed framework of Time Variability Management.

Source: Author.

3.3.2.1 Process characterization

A single operation time is represented by equation 3.11

$$Q_{eio} = \sum_{i=0}^1 T_{eio} - T_{(e-1)io}, \quad (3.1)$$

where:

T : continuous elapsed,

Q : Single operation time (activity or idleness),

e : measured time index,

i : measured time type index(1 for activity time and 0 for idle time),

o : Operation index for a single operator (if it is an unique operation, the index is 0),

n : sample size.

Time is gathered using a chronometer by a continuous time measurement. Process time P

is the time necessary to execute the process from beginning to end, operation time Q is the time of activity (operator executes the task) or idleness (operator does not executes the task). When operator does an activity (Q with $i=1$) or stop it for any reason that results in idleness (Q with $i=0$), the operation time Q is measured. Then, process time, which is the total time of all activity and idleness, is then calculated using equation 3.12.

$$P = \sum_1^o \sum_1^{e=n} \sum_{i=0}^1 (T_{eio} - T_{(e-1)io}). \quad (3.2)$$

Thus, the gathered sample is characterized via descriptive and inferential statistics as follows:

Probability distribution fitting. To characterize the operations behaviour, chi-squared statistical distribution is used to fit the gathered data to a probability distribution, and quartile analysis is applied to identify outliers. The outliers are a 1.5 quartile deviation from the first or third quartile. An interval estimation of mean parameter is then defined to verify if the sample is representative of the population:

$$\chi^2 = \sum_{all\ classes} \frac{(Q_{eio} - v_{eio})^2}{v_{eio}}, \quad (3.3)$$

where:

v : expected time into chi-squared distribution.

The parameters used to fit the probability distribution are χ^2 and the number of degrees of freedom, which is the sample size. Thus, the hypothesis for testing the probability distribution are

H_0 : observed values are equal to the theoretical values (probability distribution),

H_a : observed values are not equal to the theoretical values (probability distribution).

A likelihood-ratio test (MACKENZIE et al., 2018), which is used to evaluate the hypotheses, is defined as

$$LRT = -2 \ln \left(\frac{L(\hat{\theta}_0 | \chi)}{L(\hat{\theta}_A | \chi)} \right), \quad (3.4)$$

where $\hat{\theta}_0$ and $\hat{\theta}_A$ are the maximum likelihood estimation (MLE) of each distribution. The null hypothesis is accepted if the p-value test over (α) is higher than 0.05.

3.3.2.2 Time variability management

The data analysis uses control chart theory to identify activities, operations, or process anomalies. A control chart for idle time and activity time is then calculated using

$$UCL = \mu + 3(\sigma_{\bar{Q}_{eio}}), LCL = \mu - 3(\sigma_{\bar{Q}_{eio}}). \quad (3.5)$$

Through the use of the central limit theorem, where \bar{Q}_{eio} is normally distributed, the upper control limit (UCL) and lower control limit (LCL) are defined as the boundaries of the trusted interval. In this study, the three-sigma control limits are considered (MONTGOMERY, 2009).

Variability analysis is performed in three distinct steps: mapping, modelling, and forecasting analysis.

Mapping and modelling. A discrete event modelling tool is required. From among known such methods, the Petri net, which is a wide and solid discrete event modelling tool, is used in this study. It is a graphical and mathematical modelling tool for discrete event processes used to describe and analyse systems (MURATA, 1989; BAŞAK; ALBAYRAK, 2014; DRAKAKI; TZIONAS, 2017). The Petri net is a 5-tuple, i.e., $PN = (P, T, F, W, M_0)$,

where:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ is a finite set of places,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ is a finite set of transitions,

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ is a set of arcs (flow relation),

$W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ is a weight function,

$P \cap T = \emptyset$, and $P \cup T \neq \emptyset$.

Thus, to map the process, the Petri net model is simplified to a 3-tuple, $M = (P, T, F)$, represented by a generic C matrix of places and transitions:

$$C = \begin{matrix} & T_1 & T_2 & \dots & T_n \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (3.6)$$

To simulate the system dynamic behaviour, a Petri net must comply with the firing rule (MURATA, 1989), which is defined as

$$\forall p \in P, M' = M + C(., t). \quad (3.7)$$

A decision matrix D for reducing the variability based on the coefficient of variation and the relation with the time variability management factor (TVMF) is proposed and calculated as shown in equation 3.19.

$$D = \begin{array}{c} \text{Idle Time} \\ \text{Activity Time} \end{array} \begin{array}{cc} \text{In control} & \text{Out of control} \\ \left(\begin{array}{cc} CV_{11} * f(Q_{e0o}) & CV_{12} * f(Q_{e0o}) \\ CV_{21} * f(Q_{e0o}) & CV_{22} * f(Q_{e0o}) \end{array} \right), \end{array} \quad (3.8)$$

where:

CV : coefficient of variation,

Time variability management factor (TVMF) is defined by the maximum value of variability between activity time and idle time of the same operation. The maximum value is then selected for the trade-off performance analysis, which is represented by

$$f(x) = \begin{cases} \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{|\mu_{e0o} - \overline{Q_{e0o}}|}{\mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\mu_{e1o} - \overline{Q_{e1o}}}{\mu_{e1o} - LCL}) & \text{if } x \leq UCL \text{ or } x \geq LCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}} - \mu_{e0o}}{UCL - \mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}} - \mu_{e1o}}{UCL - \mu_{e1o}}) & \text{if } x > UCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}}}{\mu - \overline{Q_{e0o}}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}}}{\mu - \overline{Q_{e1o}}}) & \text{if } x < LCL. \end{cases} \quad (3.9)$$

3.3.2.3 Trade-off performance analysis

To trace the forecasting behaviour at each operation time and generate a trade-off analysis, the proposed framework is based on Matrix 3.18 via the analysis of the time variability model inside the control chart limits. Thus, the model analyses the variability behaviours and their relations over TVMF.

The framework output is the trade-off score of Table 5, based on the following rules:

Quadro 7 – Trade-off scores.

	Idle Time		Activity Time	
	↑	↓	↑	↓
Quality	0.1	0.3	0.7	0.2
Productivity	0.15	0.6	0.1	0.8
Maintenance	0.75	0.1	0.2	0.0

- If $x_{(simulated)} \geq \mu$, then propose decrease in operation time and insert the trade-off scores of the downward arrow column in trade-off analysis model.
- If $x_{(simulated)} \leq \mu$, then propose increase in operation time and insert the trade-off scores of the upward arrow column in trade-off analysis model.

The scores in Table 5 are constant to validate the proposed DSS tool via the generation of a trade-off relation for each new event that occurs in the process. The constant values are defined via an interview by specialists with the company staff. An analytical hierarchy process (AHP) model is used to calculate the responses consistency and the Delphi method is then used to validate the interview answers (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

The proposed framework can decrease or increase the operation time in the examination for time variability reduction, given the trade-off relationships between time variability and quality, productivity, and maintenance performance.

3.3.3 Results and discussion

To validate the proposed framework, this DSS was applied to a computer components assembly company in Brazil at São Paulo city, which produces a thousand computer components box per day. The components assembly is defined in a process map as shown in figure 17. Each workstation has an activity of the assembly process where it begins by receiving components and ends by a computer component box. The DSS get the operation time of each workstation in real time and executes the proposed structure as described in the framework section.

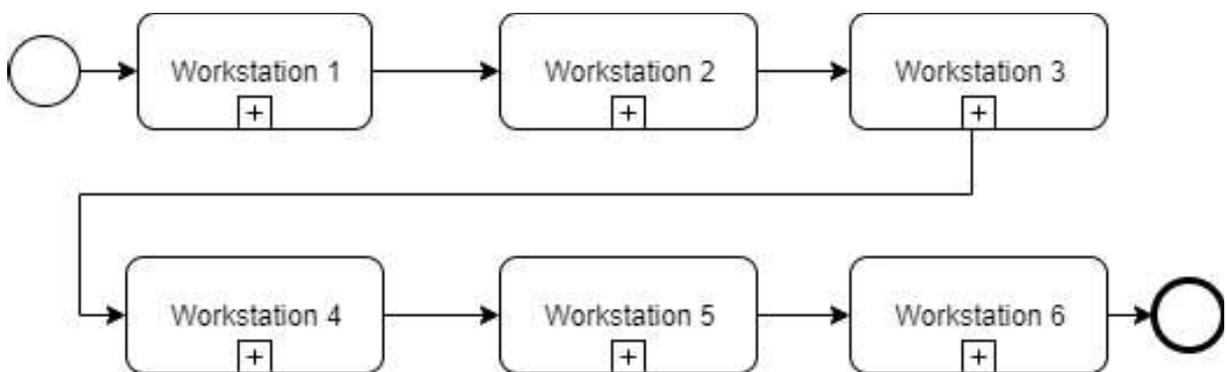


Figure 17 – Process map of computer component assembly.

Source: Author.

3.3.3.1 Process characterisation

A sample of 100 events of each activity (transition 1 to 6) is gathered from the process using the proposed framework. Then, table 1 is a descriptive statistics containing the results of statistics tests for validating the data sample gathered. Each workstation has a specific task described using places/transitions descriptions, as outlined in Tables 8 and 9.

Quadro 8 – Description table for places.

Name	Places	Description
Workstation 1	P1	Materials in conveyor
Workstation 2	P2	Components separated on the table
Workstation 3	P3	Components without labels and tag
Workstation 4	P4	Components organized to be labelled
Workstation 5	P5	Components with security tag and labels
Workstation 6	P6	Components with warranty tag
End of process	P7	Components packed

Source: Author.

Quadro 9 – Description table for transitions.

Name	Transitions	Description
Workstation 1	T1	Pick and Positioning
Workstation 2	T2	Cleaning Components
Workstation 3	T3	Organizing Components
Workstation 4	T4	Labelling Components
Workstation 5	T5	Components Warranty procedures
Workstation 6	T6	Packing procedures.

Tabela 1 – Descriptive statistics of each activity time in each workstation of the process.

Name	Sample	Mean	Standard Deviation	1º Quartile	3º Quartile	Interval
Workstation 1	100	20.39	1.61	19.2	21.775	20.12;20.66
Workstation 2	100	3.73	0.39	3.5	4.075	3.66;3.79
Workstation 3	100	13.32	0.72	12.8	13.8	13.20;13.44
Workstation 4	100	2.70	0.49	2.3	3.1	2.62;2.78
Workstation 5	100	4.37	0.55	3.925	4.775	4.27;4.45
Workstation 6	100	4.44	0.60	4	5	4.34;5.53

3.3.3.2 Time variability management

The process has been modelled using the Petri net tool, resulting in the matrix represented as Matrix 3.10,

$$C = \begin{matrix} & T_1 & T_2 & T_3 & T_4 & T_5 & T_6 & T_7 \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \end{matrix} & \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (3.10)$$

and represented graphically as Figure 18:

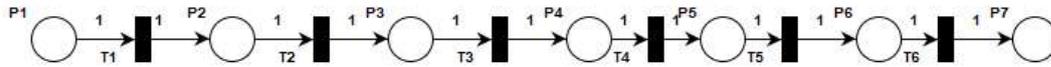


Figure 18 – Petri net of computer components assembly.

Source: Author.

The statistical model of each workstation with a stochastic probability approach is represented. Tables 7 and 3 show the probability function parameters of each workstation and the likelihood ratios used in the hypothesis test validation. Figure 19 shows the data behavior of each sample of workstation 1 to workstation 6.

The distributions for all workstations are validated using normal and gamma probability

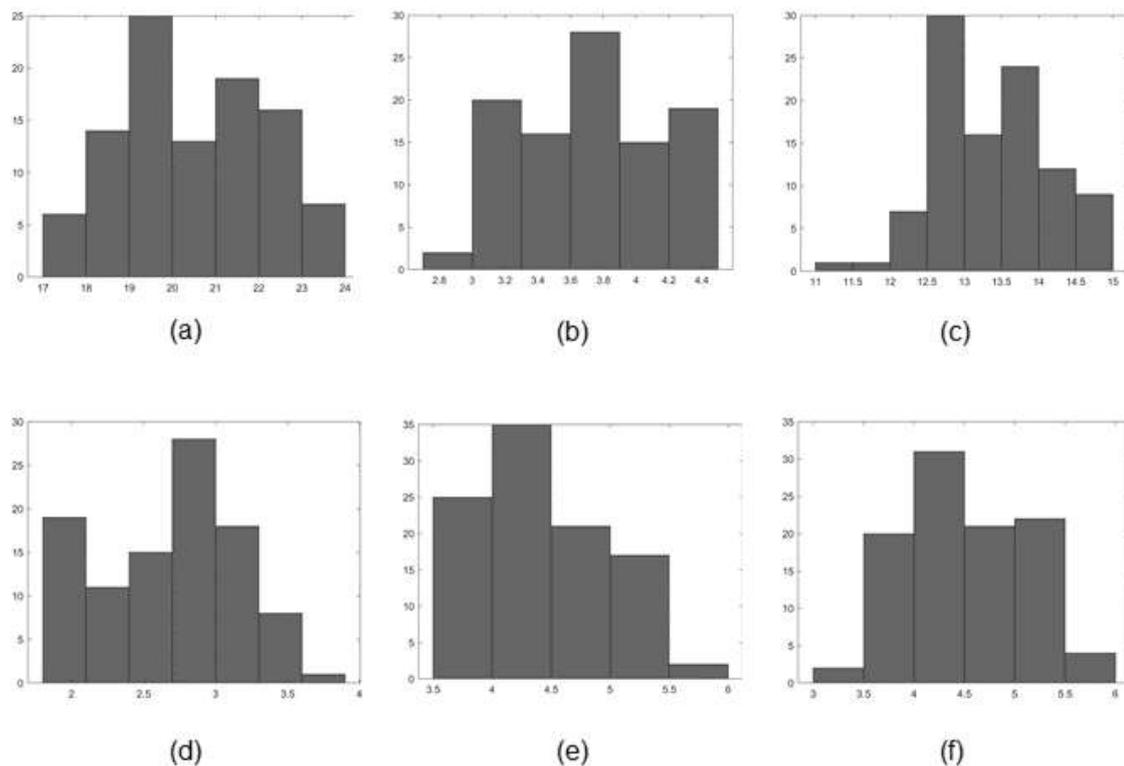


Figure 19 – Histograms of workstation process time: a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 7.

Source: Author.

distributions. Generally, discrete production time is distributed by a normal probability function, as defined for workstations 1, 2, and 4. However, a gamma distribution has similarities with exponential distribution, which indicates that workstations 3, 5, and 6 have non-normal behaviours and significant impacts on variability analysis. Following the framework proposal, a petri net simulation has been executed using GPENSIM Petri Net

Tabela 2 – Activity-time probability distribution parameters of each workstation.

Workstation	Probability Function	Parameters	Log Likelihood
Workstation 1	Normal	2.049e+01;1.548e+00	-7.424e+01
Workstation 2	Normal	3.815e+00;3.568e-01	-1.553e+01
Workstation 3	Gamma	4.404e+02;3.042e-02	-3.877e+01
Workstation 4	Normal	2.732e+00;4.921e-01	-2.840e+01
Workstation 5	Gamma	6.289e+01;7.283e-02	-3.459e+01
Workstation 6	Gamma	6.301e+01;6.912e-02	-3.253e+01

Source: Author.

Tabela 3 – Idle-time probability distribution parameters of each workstation.

Workstation	Probability Function	Parameters	Log Likelihood
Workstation 1	Gamma	2.580e+00 ;3.686e-01	-3.011e+01
Workstation 2	Gamma	1.589e+00;5.154e-01	-2.974e+01
Workstation 3	Gamma	1.430e+00;5.760e-01	-3.082e+01
Workstation 4	Gamma	4.081e+00;3.236e-01	-3.628e+01
Workstation 5	Gamma	1.971e+00;7.940e-01	-5.344e+01
Workstation 6	Gamma	1.425e+00;1.320e+00	-6.389e+01

Source: Author.

Tool for Matlab ([DAVIDRAJUH, 2009](#)). The Petri net graphic allows the identification of process bottlenecks and activity time variabilities for each workstation. The assembly process has been modelled based on the activity and idle times of each operator. Time has been gathered in real time using a sample of 100 events. For each workstation, process times have been added into a simple control chart, which permits a comparison between real time and simulation time.

The control chart represented as Figure 21 and 22 shows the process behaviour for each workstation. It is possible to identify the deviation between real and simulated times, where it affects the trade-off analysis results. Based on the variability behaviour being a decision parameter, the framework analyses the variability of each activity proposed through time variability management, as shown in Figures 21 and 22. It is possible to identify out-of-control operations at simulated times. The unbalanced system reveals the operator behaviour, and then a self-correction is proposed by the framework. The comparison between simulation and real time is necessary because of the framework proposal; the simulation error over real time is used to define the behaviour of the operator. The framework uses the simulation deviation to perform self-corrections in trade-off relations and, by consequence, to further decisions that support managers. The workstations are stabilized, and then the framework proposes the use of variability reduction to produce a better trade-off decision. Figure 22 shows the real and simulation idle times for each activity.

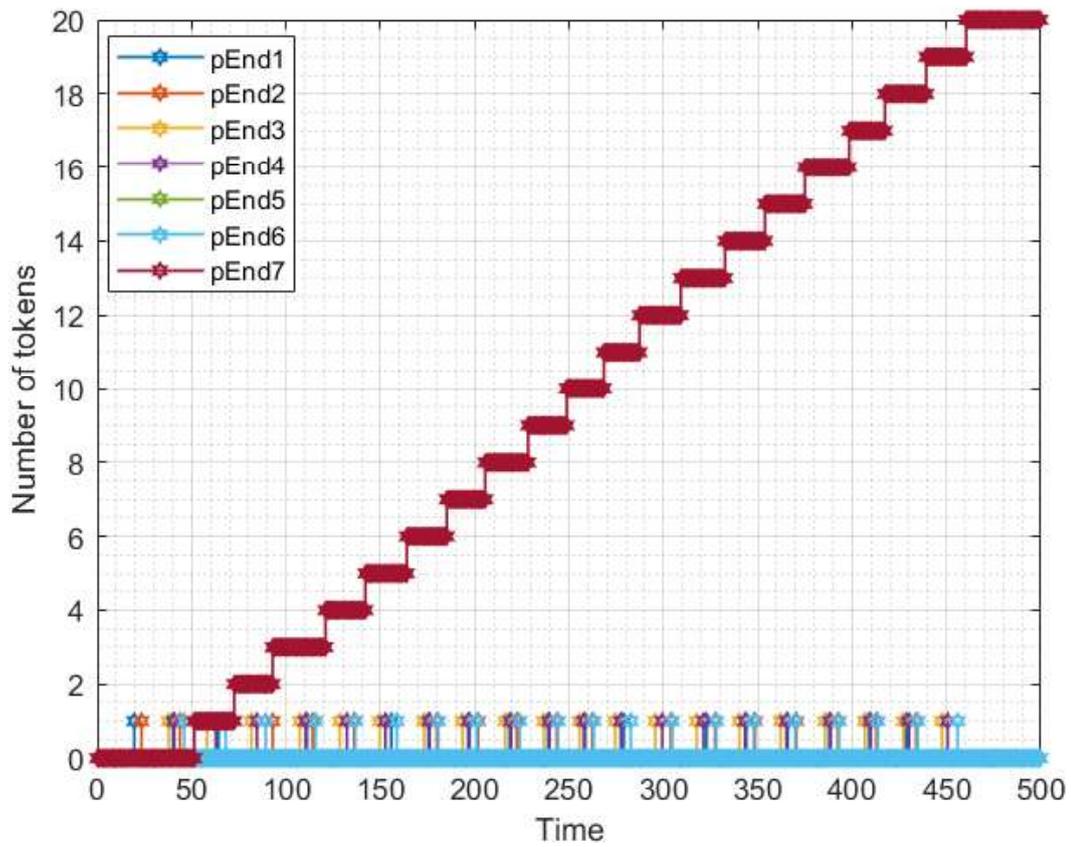


Figure 20 – Petri net simulation.

Source: Author.

Thus, the analysis of real- and idle-time simulation allows the calculation of the coefficient of variation and TVMF to define a variability relation. The main purpose of this step is to identify the highest variability over the recent tasks of the operators. Figure 23 shows the trade-off scores selected for each event following the framework rules described into framework proposal section.

The variability in Figure 23 is a representation of the framework proposal, the trade-off scores per event using TVMF, and shows how workstation variability affects the decisions of an organization. As shown in the figure, the variability of performance factors is a response from the framework algorithm to identify trade-off decisions. A variability self-correction is proposed, wherein higher process variability, as shown in Figure 23b, 23c, and 23e, indicates which operations have a critical impact on decision-making and, by consequence, are more value-additive and sensible for the organization, resulting in the trade-off scores of the framework output.

Figures 23a, 23d and 23f visualise stable processes with more constant trade-off impacts over the decision-making, which allow better decisions to be made and improvement

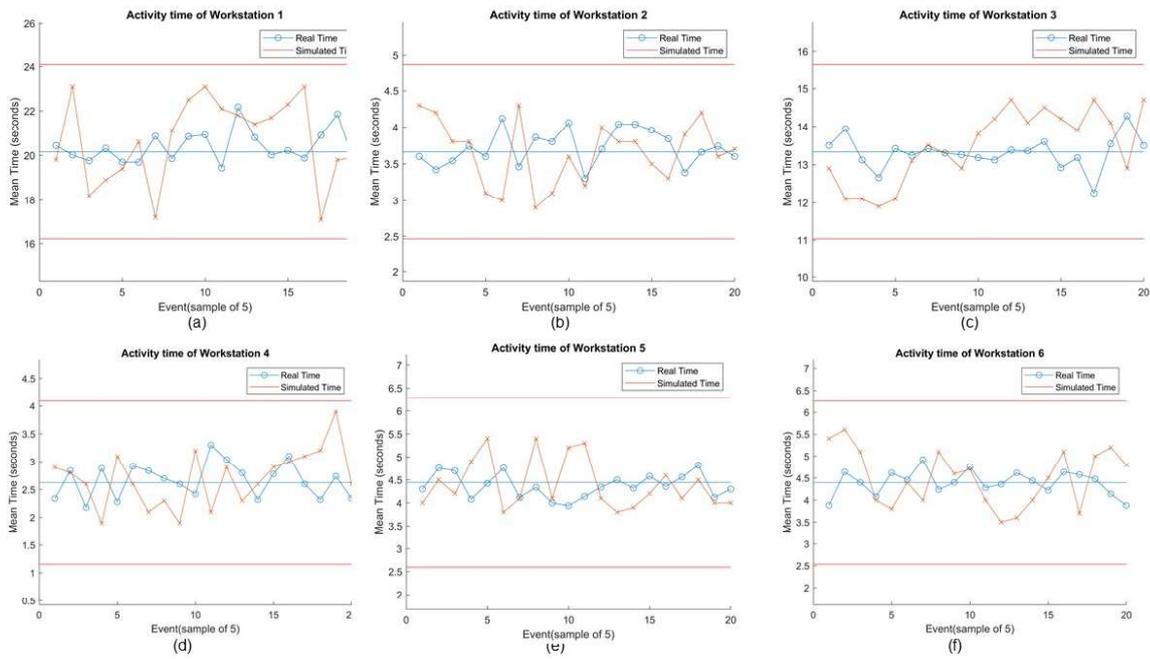


Figure 21 – Activity times for each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6

Source: Author.

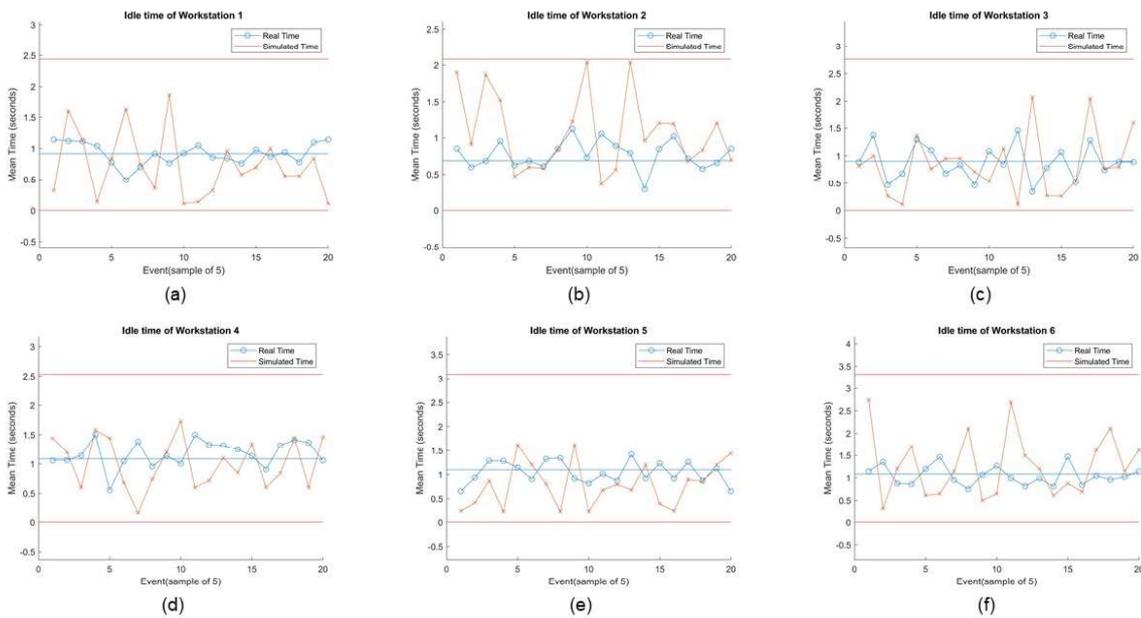


Figure 22 – Idle times for each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6

Source: Author.

points on the process to be identified, based on the principle that improvement must be relative to a stable or controlled process.

Thus, this framework is useful for identifying which activity is more sensitive to process changes or process variability and, if it has a constant variability, improvement points.

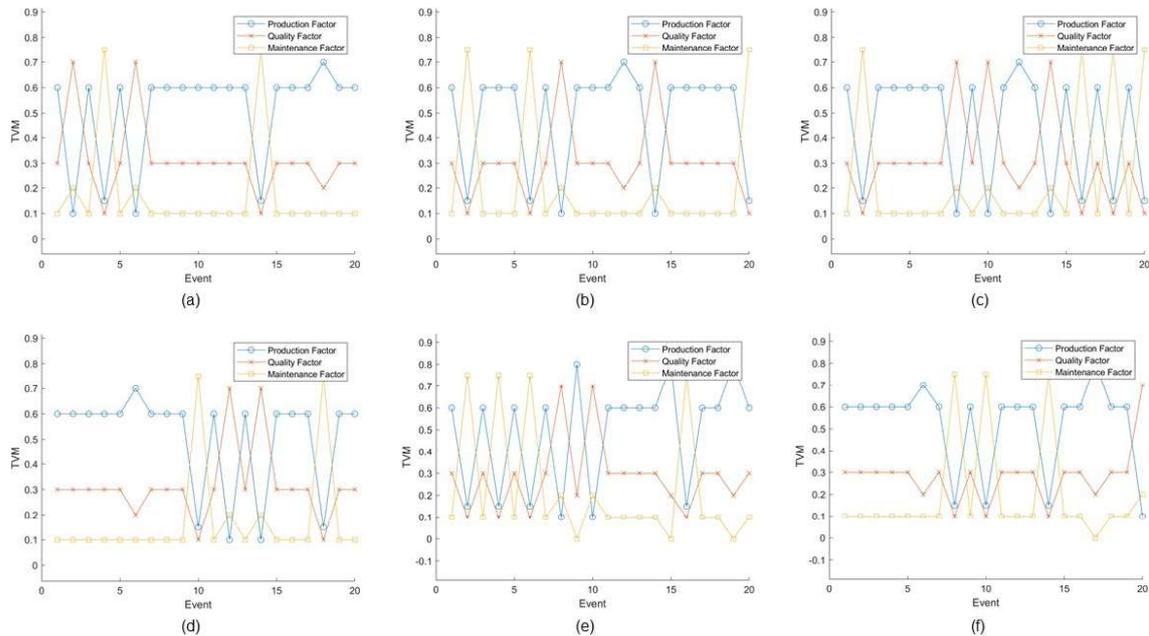


Figure 23 – Trade-off factor of each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6

Source: Author.

Based on an analysis of Figure 24 and a comparison of the trade-off relation (blue line) with a constant performance dimension (red line), productivity has a significant impact when variability management is involved. The quality performance dimension is not affected by TVM, which signifies that this process is adding value to the process in this dimension; changes in the process for the sake of improvement will have lower impact on the quality performance of the organization. The maintenance dimension has a high trade-off relation with productivity. For maintenance performance, the time variability management is considered to have a low impact on the management of decisions.

Tabela 4 – Trade-off analysis parameters.

Workstation	Quality	Productivity	Maintenance
Workstation 1	0.29	0.5	0.25
Workstation 2	0.25	0.54	0.19
Workstation 3	0.27	0.49	0.23
Workstation 4	0.26	0.54	0.19
Workstation 5	0.27	0.54	0.18
Workstation 6	0.25	0.51	0.23

Source: Author.

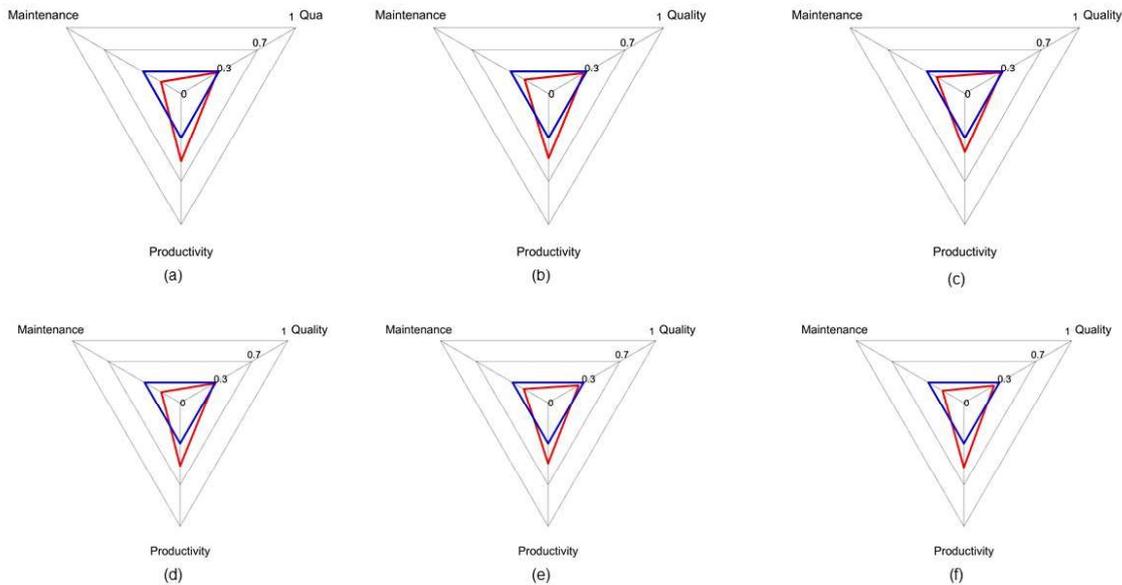


Figure 24 – Trade-off analysis of each workstation. a) Workstation 1, b) Workstation 2, c) Workstation 3, d) Workstation 4, e) Workstation 5, f) Workstation 6

Source: Author.

Thus, the proposed analysis generates benefits for operations-based processes: process behaviour is followed in real time based on a dynamic control chart as shown as figure 21 and 22; A dynamic control chart allow managers to identify process anomalies, corrective actions and execute preventive decisions; trade-off analysis, identifying which dimension performances are prioritized in each workstation, is defined; it allow to identify which performance is prioritized in each activity and identify conflicted decisions as shown as figure 24; improvement decisions are analysed based on a trade-off view, following the trade-off analysis. Based on the principle that improvement must be relative to a stable or controlled process, the framework allow to more efficient decisions in activities well-known described statistically and empirically and trade-off relations between all performance dimensions and operator behavior on the process are defined.

3.3.4 Conclusions

In this study, we propose a DSS tool for managing time variability and trade-off relations in operational level management. The proposed method then generates a control chart and analyses the relation between the time variability of each workstation and the performance dimensions of the organization. By analysing the process behaviour of each workstation using the proposed framework, the quality performance has a low impact over the process. Productivity and maintenance performances have a high correlation with TVM.

This framework, used in association with traditional management philosophies, is a powerful tool that permits managers to develop a trade-off analysis and make decisions on workstations. Thus, a research field that correlates time variability with performance dimensions may be validated by this framework.

The trade-off analysis in this study is limited to a constant trade-off model to validate the framework. To help managers make better decisions, multi-objective models may be applied in discrete event systems. Further, the framework may be applied to continuous production without any model update.

3.4 Artigo 03 - Decisões operacionais e sustentabilidade: Estudo de caso de um centro de distribuição de medicamentos no Brasil.

Resumo:

A cadeia de suprimentos do setor farmacêutico tem recebido atenção especial devido aos diversos fatores como o impacto econômico, social e ambiental distribuição de medicamentos. As organizações baseiam suas decisões na análise de desempenho de indicadores econômicos e desconsideram os fatores de sustentabilidade. Assim, a sustentabilidade das decisões de operações deve ser analisada para alcançar uma melhor eficiência de decisão. Este estudo integra métodos analíticos de avaliação de atividades operacionais em um centro de distribuição de medicamentos da logística farmacêutica para analisar a sustentabilidade de suas operações. Além disso, propõe-se um sistema que incorpora decisões de gerenciamento de variabilidade de tempo (TVM) e análise de trade-off das dimensões de sustentabilidade definidas pelo tripé da sustentabilidade tais que os fatores econômicos, sociais e ambientais em decisões operacionais. Um *framework* é proposto, coletando em tempo real os tempos de processos e avalia o impacto da variabilidade utilizando simulação estocástica com base na análise estatística e gráfico de controle. O modelo de decisão é avaliado utilizando o método de análise hierárquica de processo (AHP). Os resultados da análise de trade-off de sustentabilidade e TVM indicam que as dimensões econômicas têm um impacto maior na organização do que as dimensões sociais e ambientais. As dimensões ambientais e sociais têm impactos diferentes nas decisões de variabilidade do tempo, sendo que a redução do tempo das operações tem mais impacto na dimensão social, enquanto o aumento do tempo das operações tem um impacto ambiental maior. Assim, o framework é uma ferramenta eficaz para analisar a variabilidade do tempo de processo e a sustentabilidade das decisões operacionais .

Palavras-chave: sustentabilidade; variabilidade do tempo; trade-off; sistema de apoio a decisão

3.4.1 Introduction

Supply chain management is one of the most important cost-driven decisions in organizations (MOYANO-FUENTES; MARTÍNEZ-JURADO, 2014). Based on economic analysis, supply chain disruptions also have social and environmental impacts (DAROM et al., 2018). Thus, a sustainability approach is necessary to convert better management decisions into a decision-making process. Specifically, in pharmaceutical supply chains, operational management of supplying drugs to customers is highly sensitive to organization performance (GANESH et al., 2020). Furthermore, evaluation of the sustainability of operations in the pharmaceutical supply chain is necessary to support decision-making models and increase organization efficiency.

In terms of sustainability, some authors analyze the organizational performance based on the triple-bottom-line (TBL) dimensions of organizational sustainability, such as economic, social, and environmental (POPESCU et al., 2017; PIGNEUR; JOYCE; PAQUIN, 2015; WILSON, 2015). Ref. (PIGNEUR; JOYCE; PAQUIN, 2015) proposes the integration of TBL into a visual business canvas, to explore allowing sustainability in business innovations. In terms of a strategic view, (POPESCU et al., 2017) ref. analyzes a macrodimension using four indices to assess sustainability performance. However, ref. (WILSON, 2015) reveals that strategic sustainability models are insufficient for providing a satisfactory framework for sustainable politics owing to the lack of connection between several aspects that affect the TBL dimensions. Thus, the basis of a sustainable organization is measured by performance dimensions, which consider that sustainable organizations may achieve high performance and better results, such as profitability, social care, and environment preservation. Generally, sustainability is analyzed to support strategic decisions, but operational management also requires tools to improve their decisions in day-to-day operations and their impact on sustainability factors (MODGIL; SHARMA, 2017). Strategic levels and sustainability studies are widely explored. Risk management in strategic level and sustainability is proposed by (SHAD et al., 2018), where the authors conceptualize a framework to examine the effects of sustainability, reporting practices, and business performance. Ref. (UKKO et al., 2019) associate financial performance and sustainability with managerial and operational capabilities, suggesting sustainability strategies to be their promoter. Ref. (CALABRESE et al., 2018) integrates sustainability into strategic decision-making by using a fuzzy AHP method to select the sustainability issues most relevant to strategic decisions. However, operational studies and their relationship with the economy, society, and environment require more attention. Considering the operational management sensibility of supply chains and the importance of sustainability in organizations, the integration of these areas is necessary to help in the decision-making process (BERTONI, 2017; KOEIJER; LANGE; WEVER, 2017). Furthermore, in sustainability, which includes a wide range of organizational performance indicators, the decision-making trade-off should be analyzed for the improvement of organizations (MAGON et al., 2018). Integrating the trade-off relationship into a decision-support system (DSS) can also improve decision-making (NEGAHBAN; SMITH, 2014; AGHEZZAF; JAMALI; AIT-KADI, 2007; GEBENNINI et al., 2017), specifically when sustainability performance is evaluated.

Thus, to incorporate an operational perspective in sustainability and trade-off analysis, which is still unexplored in academic research, this study proposes a trade-off analysis of sustainability TBL dimensions such as economic, social, and environmental performance that affect operational management decisions. The case of a Brazilian drug distribution center is analyzed and evaluated in this study using a decision model that uses an analytical hierarchy process (AHP), and a trade-off framework evaluation is made. Furthermore, the time variability management (TVM) of operations is used as a condition

of the decision model.

Under a general approach, methods for analyzing sustainability use quantitative and qualitative data. In quantitative analysis, ref. (BRANDENBURG et al., 2014) reviews a large number of relevant papers that use quantitative methods to identify gaps and future research perspectives. Ref. (A. et al., 2017) and (AHI; SEARCY, 2015) are more specific in their sustainability analysis that is integrated with the supply chain using a proposed framework, and they collaborate to understand the evolution of studies in sustainable supply chain management (SSCM). Furthermore, ref. (ZAHIRI; ZHUANG; MOHAMMADI, 2017) and (ACQUAYE et al., 2017) propose multi-objective models. Qualitative methods are also well defined in academic literature (LUTHRA; MANGLA, 2018; SEURING; GOLD, 2013; MOYANO-FUENTES; MARTÍNEZ-JURADO, 2014; SHAMSUDDOHA, 2015). To achieve more effective results, some authors explore the integration of multi-criteria and multi-objective decision methods (GAN; CHENG; LO, 2016; MATTIUSI; JOHN; SIMEONI, 2014; STINDT, 2017; VIVAS et al., 2019; RASHIDI, 2020). In strategic, tactical, and operational performance dimensions, applying methods to ensure effectiveness of performance dimensions is a common practice. For example, ref. (JOHANSSON A.; GUSTAVSSON, 2020) analyzes the operations performance by costs key performance indicator. Even costs are generally associated with strategic management, the author associates it directly to operations management. Ref. (MODGIL; SHARMA, 2017) analyzes the Indian pharmaceutical industry through the information system performance in supply chain management operations. Ref. (SANTA et al., 2010) also regards the operations management by an information system approach, which explores the cross-functional teams alignment and the operational effectiveness. Ref. (PRAJOGO et al., 2018) analyzes information management by examining the role of information in the internal as well as external context of process management and operations performance. However, the integration of sustainability performance measurements into operations management remains unexplored. Although operations management has been widely studied (PRAJAPAT; TIWARI, 2016; KANNAN; TAN, 2005; Trigueiro de Sousa Junior et al., 2019), the studies are not related to sustainability. Some researchers have conducted studies on operations management and sustainability. Ref. (MAGON et al., 2018) have developed a research synthesis about state-of-the-art empirical studies relating to the impact of sustainability practices on organizations with respect to economic, social, and environmental dimensions. Results from this study demonstrate positive effects of sustainability on costs, product quality, and mix flexibility based on operational measurements. Ref. (LOPEZ-TORRES et al., 2017) worked on knowledge management to enable sustainability in organizational operations and to integrate sustainable operations into business strategies. The evaluation of operations performance and its relationship with information and knowledge comprise the main theme of this study. For example, management philosophies such as lean manufacturing and total quality management have several tools to improve operational activities.

For example, ref. (GREEN et al., 2018) assess the impact of total quality management on environmental performance. In terms of a management approach, sustainability and operations have focused on supply chain management. Ref. (CROOM et al., 2018) associate social sustainability with supply chain practices and its impact on operational performance. The authors emphasize that the effect of sustainability orientation on operational performance is significantly moderated. However, the integration of sustainability performance measurements to organization operations remains unexplored.

Specifically, for TVM, the operation time is generally evaluated by quantitative and qualitative methods based on statistical models using stochastic and deterministic analyses. TVM is a widely used method to reduce variability of operations time in main management philosophies such as six sigma and lean manufacturing. However, traditional management behaviors do not consider trade-off relations in operations-based decisions (MÜLLER; OEHM, 2018). In particular, operational activities and sustainability analysis are effective techniques for the analysis of operations variability with a trade-off decision model between TBL dimensions of sustainability. To achieve process efficiency at the operational level, a stochastic model is defined and, further, simulated through scenario comparisons (FERRO; COOPER; ANHOLON, 2017; YEGUL et al., 2017; LAYEB et al., 2018; KARMARKAR; KEKRE, 1987; DEIF; ELMARAGHY, 2014; YANG et al., 2017). A more realistic approach to decision-support systems in operational management levels is determined when TVM is used to reduce process variability and to evaluate the impact of sustainability in an organization. Ref. ((LETCHEER et al., 2013) analyzes and defines modeling techniques and their integration based on data type, thereby providing a robust model that allows operational managers to make more effective decisions. In particular, the SSCM of drug distribution should be analyzed to provide a decision-making model for managers that can improve the efficiency of the pharmaceutical industry. Thus, a framework is proposed and validated by using the operational management decisions and the TBL sustainability performance of a Brazilian drug distribution center.

The study is divided into the following sections. The proposed framework section presents the methods to collect, organize and analyze data with the help of an exploratory data analysis. Thereafter, a process analysis has been conducted with the assistance of a control chart as well as a TVM and sustainability trade-off analysis that shows the trade-off method. Next, the framework validation and case study section presents the results of applying the proposed framework and discusses. The conclusion section presents the discussion of sustainability and operational performance analysis of the case study as well as the managerial implications.

3.4.2 Proposed Framework

A framework to integrate TVM and sustainability impacts in a drug distribution center is proposed in this study. Based on traditional management decisions, the TBL trade-off is evaluated based on time variability reduction decisions related to operations. TVM forecasting in real time can validate the proposal and may be expanded to other operations-based decisions, such as preventing the wastage of resources. Considering the variability responses from resources use, the framework can also guide managers to more effective and efficient decisions, owing to forecast analysis and the impact of variability reduction decisions on organization performance. Variability is a consequence of unbalanced systems, where each operation has a critical impact on all performance dimensions of the organization (KEMPENAERS et al., 1994b; FRAMINAN; FERNANDEZ-VIAGAS; PEREZ-GONZALEZ, 2019).

Then, by using TVM and sustainability integration framework, a trade-off analysis is proposed based on four premises, which consolidate the decision-making framework:

1. Bottom-up decisions are made from the operations-based level and are used for higher levels according to their needs.
2. The variability behavior of parameters is the operation time of each operator, and the TBL performance is analyzed using this DSS tool.
3. Output of this framework results in a trade-off analysis that supports the decision-making process of the operational management level.
4. The framework allows the use of any mathematical model for trade-off analysis; in this study, the AHP is used.

The DSS tool analyzes the trade-off behavior of management decisions in specific steps, as shown in Figure 25:

The data analysis is divided into three main steps: exploratory data analysis, control-chart analysis, and TVM. It also provides trade-off indicators based on forecasted operator behavior and the impact over the TBL dimension performance defined by the AHP weights.

3.4.2.1 Exploratory Data Analysis

Operations of the DSS use a continuous time collecting method, where

$$Q_{eio} = \sum_{i=0}^1 T_{eio} - T_{(e-1)io}. \quad (3.11)$$

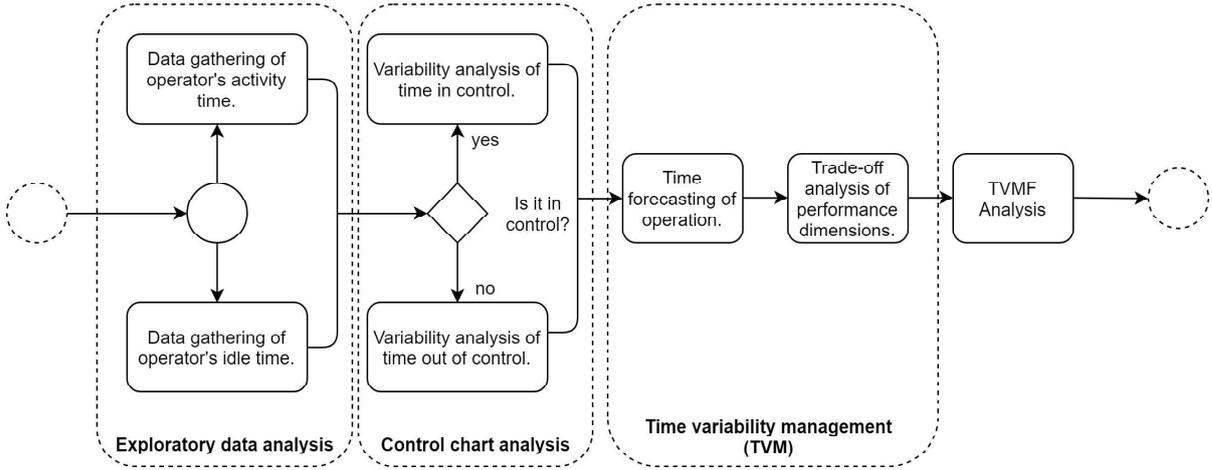


Figure 25 – Proposed framework of Time Variability Management.

Source: Author.

Calculated by a continuous elapsed time evaluation T , the procedure for collecting the sample time that is used as an input for the framework starts when the operator obtains the receipt drug box and ends when he or she inserts the box back on the conveyor. A process is a systematic group of activities. Then, the process time P is calculated using Equation (3.12).

$$P = \sum_{1}^o \sum_{e=1}^n \sum_{i=0}^1 (T_{eio} - T_{(e-1)io}), \quad (3.12)$$

where:

T : continuous elapsed time,

e : measured time index,

i : measured time type (activity or idleness) index,

o : total operations for a single operator, and

n : sample size.

Further, a probability distribution characterization is performed through a chi-squared statistical distribution analysis of the sample. This process is followed by a quartile analysis (to identify outliers) and interval estimation of mean parameter to calculate the sample representability:

$$\chi^2 = \sum_{\text{all classes}} \frac{(Q_{eio} - v_{eio})^2}{v_{eio}}, \quad (3.13)$$

where:

v : expected time into chi-squared distribution.

The number of degrees of freedom is the sample size, which in this research is 100 events per operation. A hypothesis test is performed to verify whether the sample fits to the distribution probability curve:

H_0 : observed values are equal to the theoretical values and

H_a : observed values are not equal to the theoretical values .

A likelihood ratio test, which is used to evaluate the hypotheses, is defined as

$$LRT = -2 \ln\left(\frac{L(\hat{\theta}_0\chi)}{L(\hat{\theta}_A\chi)}\right), \quad (3.14)$$

where $\hat{\theta}_0$ and $\hat{\theta}_A$ are the maximum likelihood estimation of each distribution. The null hypothesis is accepted if the p-value test is higher than 0.05.

3.4.2.2 Control Chart and Time Variability Analysis

A control chart is generated based on the three-sigma control limits:

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + 3(\sigma_{\bar{Q}_{io}}), \\ LCL &= \mu - 3(\sigma_{\bar{Q}_{io}}). \end{aligned} \quad (3.15)$$

Using the central limit theorem, where \bar{Q}_{io} is normally distributed, the upper control limit (UCL) and the lower control limit (LCL) are defined as the boundaries of the trusted interval. In this study, the three-sigma control limits defined by (MONTGOMERY, 2009) are considered.

Then, a variability analysis is performed by mapping, modeling, and forecasting the time variability of each operator.

Mapping and modeling. A Petri net model is used to simulate the behavior of the operator. The graphical and mathematical basis of this well-consolidated method is well defined (MURATA, 1989; DRAKAKI; TZIONAS, 2017; BAŞAK; ALBAYRAK, 2014).

Based on literature, ref. (MURATA, 1989) defines the Petri net as a 5-tuple, i.e., $PN = (P, T, F, W, M_0)$,

where:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ is a finite set of places,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ is a finite set of transitions,

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ is a set of arcs (flow relation), and

$W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ is a weight function,

$P \cap T = \emptyset$, and $P \cup T \neq \emptyset$.

Thus, the process map is a 3-tuple, $M = (P, T, F)$, represented by a generic C matrix of places and transitions:

$$C = \begin{matrix} & T_1 & T_2 & \dots & T_n \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (3.16)$$

To simulate the discrete event, the Petri net must comply with the firing rule (MURATA, 1989), as expressed in (3.17).

$$\forall p \in P, M' = M + C(., t). \quad (3.17)$$

Furthermore, the DSS generates a TVMF factor by calculating the coefficient of variation and by multiplying it by the operator time variability in Equation (3.18):

$$TVMF = \begin{matrix} & \text{In control} & \text{Out of control} \\ \begin{matrix} \text{Idle Time} \\ \text{Activity Time} \end{matrix} & \begin{pmatrix} CV_{11} * f(Q_{e0o}) & CV_{12} * f(Q_{e0o}) \\ CV_{21} * f(Q_{e0o}) & CV_{22} * f(Q_{e0o}) \end{pmatrix}, \end{matrix} \quad (3.18)$$

where:

CV : coefficient of variation and

$TVMF$: time variability management factor (TVMF).

The maximum value of time variability between activity or idle time is then selected for TVMF in Equation (3.18), which is modeled into the equation system (3.19).

$$f(x) = \begin{cases} \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\mu_{e0o} - \overline{Q_{e0o}}}{\mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\mu_{e1o} - \overline{Q_{e1o}}}{\mu_{e1o} - LCL}) & \text{if } x \leq UCL \text{ or } x \geq LCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}} - \mu_{e0o}}{UCL - \mu_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}} - \mu_{e1o}}{UCL - \mu_{e1o}}) & \text{if } x > UCL, \\ \sup(100 * \frac{s_{e0o}}{x_{e0o}} * \frac{\overline{Q_{e0o}}}{\mu - Q_{e0o}}; 100 * \frac{s_{e1o}}{x_{e1o}} * \frac{\overline{Q_{e1o}}}{\mu - Q_{e1o}}) & \text{if } x < LCL. \end{cases} \quad (3.19)$$

3.4.3 TVM and Sustainability Trade-Off Analysis

To integrate TVM and sustainability performance, an AHP method is used. The scores presented in Table 5 are the results of the AHP analysis. Although the framework allows the insertion of any mathematical model into a real-time interaction of trade-off analysis scores, for this study, the AHP analysis, which generates a constant weight, is used to validate the proposed DSS.

Then, a trade-off analysis is performed based on the proposed framework, considering the following criteria defined in AHP:

The AHP is a paired comparison ratio, derived from a relative scale of judgment or data (SAATY, 1990). For sustainability comparison, the criteria defined are presented in Figure 26.

The objective of an AHP analysis is to evaluate the impact of operation time variability over TBL sustainability dimensions such as economic, social, and environmental performance. For economic evaluation, it considers sustainability impact over production rate, human error operation, and equipment failure. For social evaluation, it considers operator fatigue and accident risk in operations. For environmental evaluation, energy consumption and gas emissions have been considered. Thus, TBL has been incorporated into the framework with reference to the application of the AHP method as described below.

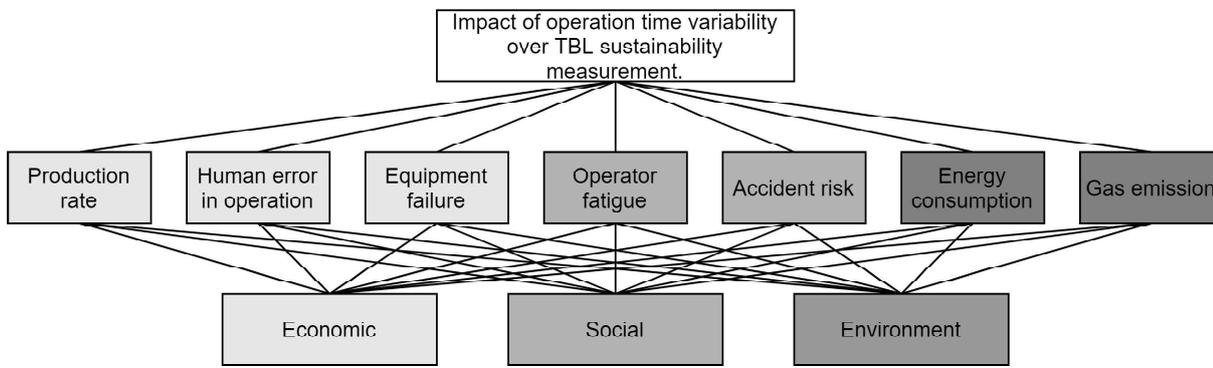


Figure 26 – Analytical Hierarchy Process structure for sustainability performance.

Source: Author.

Following the proposed analysis of eigenvalue and eigenvector used in a matrix calculation, ref. (RASHIDI, 2020) describe a simple model, which is adapted for this research:

Assuming that there are $d_m (m = 1, \dots, M)$ decision makers, on operations activities in the drug distribution center, who evaluate the performance of $n (j = 1, \dots, J)$ of TBL based on $c (q = 1, \dots, Q)$ criteria such as described in Figure 26, a pairwise decision matrix is formulated in Equation (3.20).

$$\sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q c = \begin{pmatrix} j_1 & j_2 & \dots & J \\ j_1 & 1 & p_1/p_2 & \dots & p_1/p_J \\ j_2 & p_2/p_1 & 1 & \dots & p_2/p_J \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ J & p_J/p_1 & p_J/p_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

where:

p : the performance of each criteria by a pairwise comparison.

Furthermore, the AHP assumption analyzes a consistency ratio (CR) to evaluate the judgments of specialists (i.e., decision makers) on the criteria. (SAATY, 1990) and (RASHIDI, 2020) provide details of the AHP model validation and the application of their mathematical models.

Subsequently, constant trade-off scores are generated, as presented in Table 5, through a criterion weight analysis of operator behaviors. The framework output is the trade-off score presented in Table 5, based on the following rules:

- If increasing the amount of idle time is necessary to reduce variability, then the trade-off score of the upward arrow column is considered in the trade-off analysis.
- If decreasing the amount of idle time is necessary to reduce variability, then the trade-off score of the downward arrow column is considered in the trade-off analysis.

Tabela 5 – Trade-off scores.

	Idle Time		Activity Time	
	↑	↓	↑	↓
Economic	0.7	0.6	0.61	0.43
Social	0.2	0.2	0.1	0.247
Environment	0.1	0.2	0.143	0.486

Source: Author.

To validate the responses of specialists, a CR is evaluated, as presented in Table 6.

Tabela 6 – Operator time variability reduction consistency ratio.

Operator Behavior	Consistency Ratio
Operator time reduction	4.8
Operator time increase	2.2

Source: Author.

A radar graph of trade-off decisions on the economic, environmental, and social performance is generated as the performance indicator of the decision-making system of the organization.

3.4.4 Framework Validation and Case Study

3.4.4.1 Process Characterization

The sustainability analysis was applied in a customer orders drugs separation section (CODSS) of a Brazilian pharmaceutical drug distribution center in Brazil. The CODSS is

divided in two tasks, drug list verification and drug separation. A real-time data gathering was executed for a sample of 100 events for each task, by measuring the idle and activity times elapsed from a unique operator in process. The process is presented in Figure 27 and then modeled using the Petri net tool, which is characterized by places and transition tables.

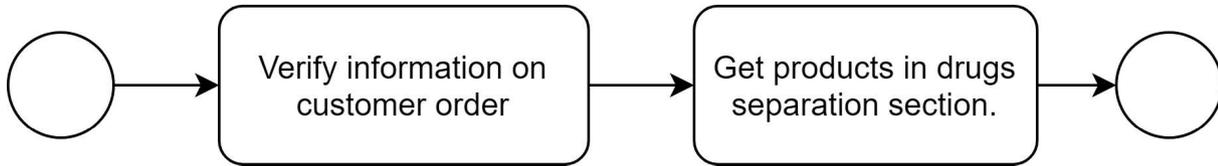


Figure 27 – Drugs separation process map.

Source: Author.

Each task of CODSS is modeled by a pair of place and transition. The Petri net is presented in Figure 28 and described in places and transitions description tables (displayed in Tables 10 and 11, respectively).

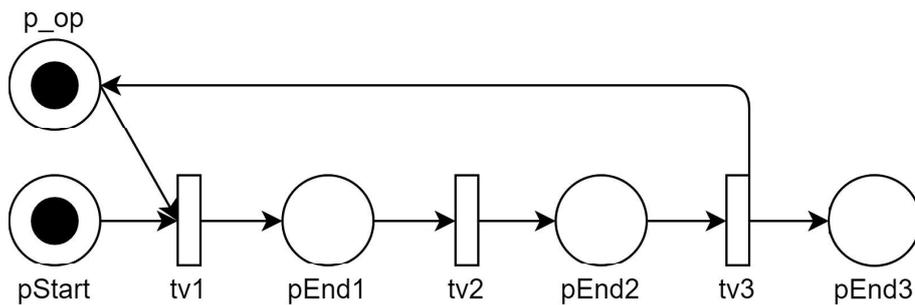


Figure 28 – Drug separation process map.

Source: Author.

Quadro 10 – Description table for places.

Name	Places	Description
Process start	pStart	Customer order list arrived in drug separation section
Customer list	pEnd1	Customer order is available to operator.
Drug picking process requested	pEnd2	Validated drug list is available to the operator.
Drugs separated	pEnd3	Drugs requested by customer are separated and ready for the next process.
Operator status	p_op	Operators are available for the next request.

Source: Author.

The modeled process is represented by matrix C in Equation (3.21), where the weights defined represent the dynamic interactions for discrete-event process simulation,

Quadro 11 – Description table for transitions.

Name	Transitions	Description
Transition 1	tv1	Send customer request order to drug separation section
Transition 2	tv2	Operator verifies customer request
Transition 3	tv3	Operator separates drugs from list

Source: Author.

following the Petri net firing rules (MURATA, 1989).

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} tv1 & tv2 & tv3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} pStart \\ pEnd1 \\ pEnd2 \\ pEnd3 \\ p_op \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (3.21)$$

A statistical model of each task is defined by a probability distribution selection of drug list verification (*tv2*) and drug separation (*tv3*) activities. Thus, the stochastic behavior is defined by a probability distribution fit, represented by the distribution name and their respective parameters. In this study, in a sample of 100 events for each transition, *tv2* and *tv3* are evaluated. *Tv1* represents the arrival of customer requests and is not considered for the evaluation of the sustainability impact. Tables 7 and 8 show the probability distribution names, probability parameters, and log likelihood hypothesis test.

Tabela 7 – Activity-time probability distribution parameters.

Process	Probability Function	Parameters	Log Likelihood
tv2	Gama	1.415;3.829	$-1.063 * 10^2$
tv3	Normal	$1.588 * 10^1$; 7.603	$-1.379 * 10^2$

Source: Author

Tabela 8 – Idle time probability distribution parameters.

Process	Probability Function	Parameters	Log Likelihood
tv2	Gamma	5.086; 1.037	-88.008
tv3	Gammal	78.18; $7.134 * 10^{-2}$	-38.15

Source: author

For *tv2* and *tv3*, gamma and normal distributions were validated by the *p*-value of the log likelihood test.

3.4.4.2 Process Simulation and Scenario Analysis

The process simulation is necessary to identify unbalanced system problems as bottlenecks or disruptions. In this case, the process is simulated with one operator to perform *tv2* and *tv3* tasks. This process is a sequential task and is presented in Figure 27. Then, the real and simulated times are compared in a chart control, for both idle time and activity time. First, a Petri net simulation is executed using the GPENSIM MatLab library, and the graphical representation of the Petri net model states is shown in Figure 29.

In the figure, each place is described dynamically by the number of tokens. A token represents the change of state in the Petri net model, and then when each time the operator executes a task, a new state is created, and a token is moved following the Petri net rules. As described in Table 10, *pStart* denotes the start of the process, whereas *pEnd1* provides the customer drug request for the operator. In this study, the limit is 200 tokens (customer drug requests). Then, *pEnd2* represents the place of the first task modeled (*tv2*), whereas *pEnd3* represents the place of the second task of the process (*tv3*). Furthermore, to simulate the model with one unique operator, a place called *pOp* is created. This place is necessary to grant the sequential execution of tasks by a unique operator, similar to the model displayed in Figure 28.

Hence, the proposed framework simulates operator behavior. To evaluate the quality of the process, a control chart is defined to allow real-time and simulated-time analysis.

For task 1, Figures 30 and 31 represent the control chart of idle time and activity time, respectively. Tasks 1 and 2 are the controlled processes. The deviation from the mean of the simulated time of both tasks is higher owing to the probability distribution fitting. However, as the simulation is based on random numbers following a probability distribution, the error is acceptable.

For task 2, the real time and simulated time have lower deviations from mean, indicating that it reduces the forecasting operator behavior error and, thus, increases the effectiveness of the trade-off analysis. For the activity and idle time of task 2 represented in figure 32 and 33, although the process is controlled, the simulated time has higher deviation and must be analyzed by managers to identify possible problems of an unbalanced system. The proposed framework is based on simulated time, and the forecasting step of this method identifies possible process management improvement points.

The control-chart analysis is an important step for the proposal of this framework because it allows managers to assess when a process is in or out of control. In CODSS, the process is well-controlled. A sustainability trade-off analysis of the manager decisions

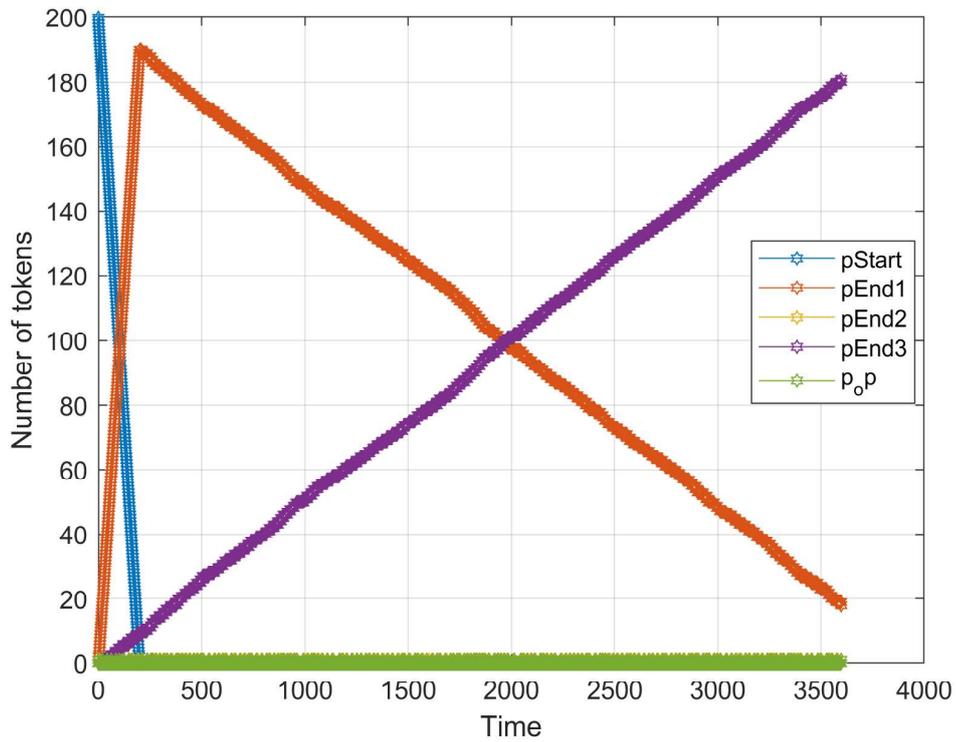


Figure 29 – Petri net simulation using GPENSIM module.

Source: Author.

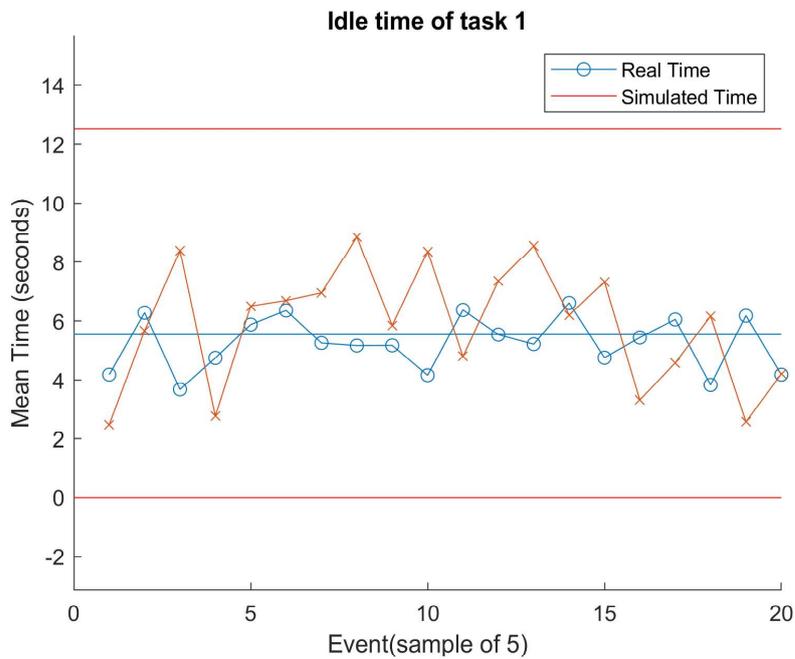


Figure 30 – Control chart of idle time in task 1 ($tv2$).

Source: Author.

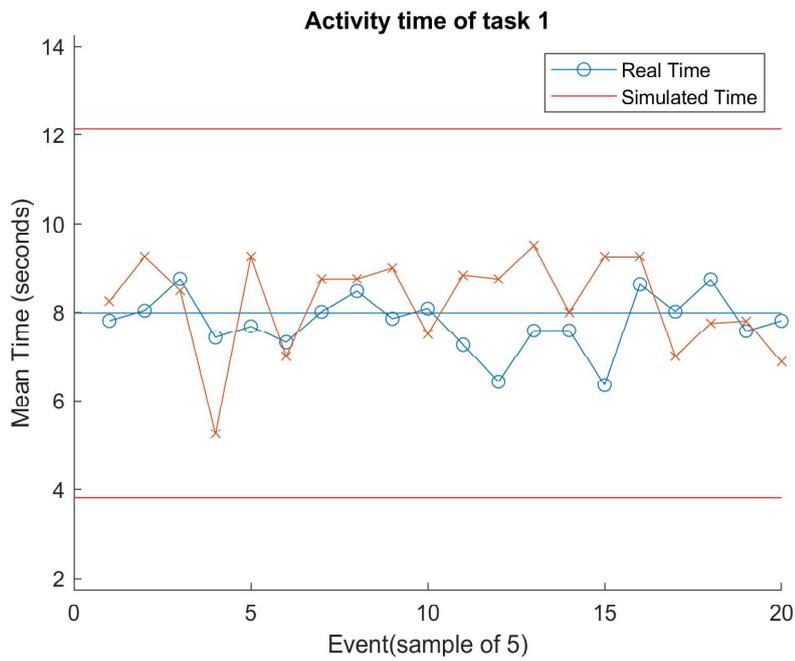


Figure 31 – Control chart of activity time in task 1 (*tv2*).

Source: Author.

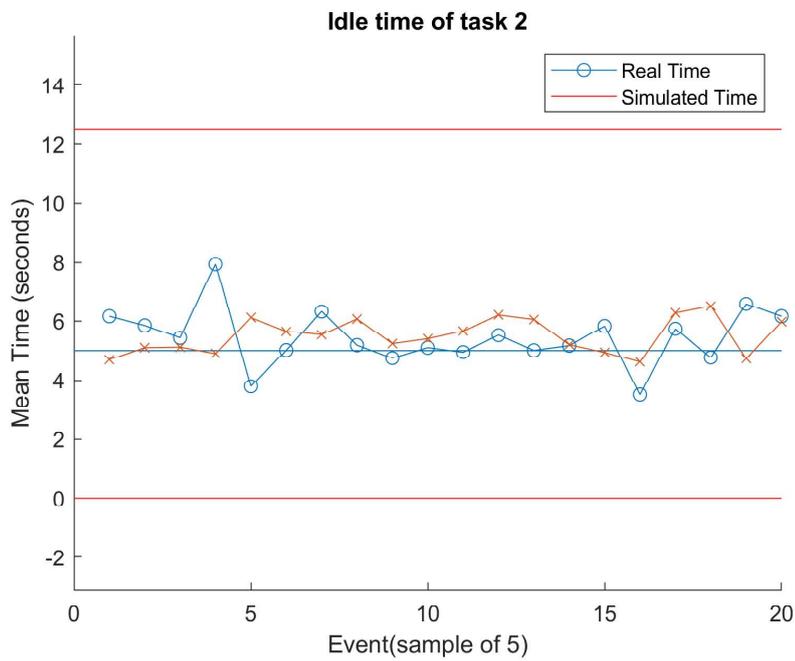


Figure 32 – Control chart of idle time in task 2 (*tv3*).

Source: Author.

model is presented in Figures 34 and 35.

First, this research proposes to analyze the decision over TVM and the impact on TBL sustainability dimensions. In both graphs, the trade-off analysis clearly shows that

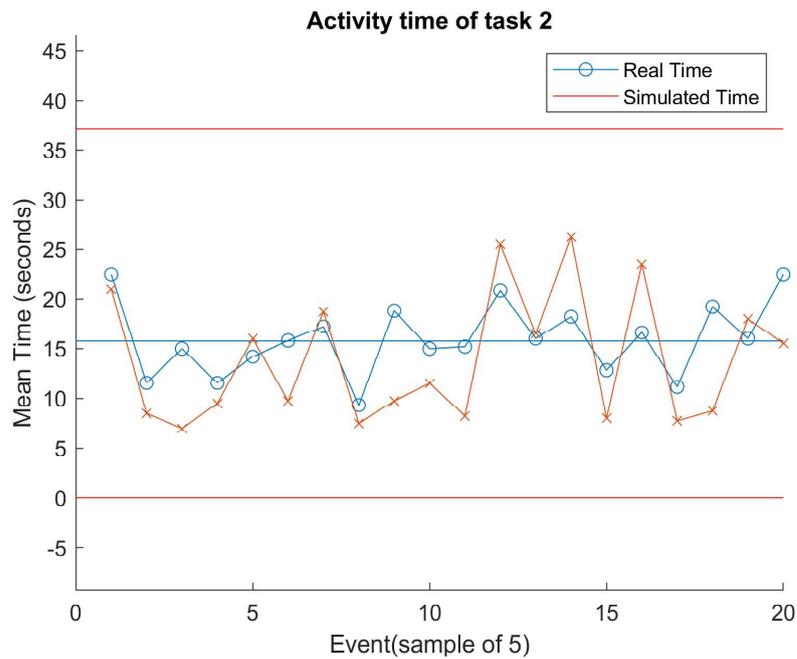


Figure 33 – Control chart of Activity time in task 2 (*tv3*).

Source: Author.

economic dimensions have a higher sensitivity to TVM decisions. Generally, the productivity, quality, and maintenance dimensions are priorities for managers, which is reflected in this analysis by a higher score in the economic dimension. However, the social and environmental dimensions have different behaviors for each task. For task 1, social dimensions are more affected than environmental dimensions, indicating that managers assume that social dimensions are more important to a decision-making process than environmental ones. Indeed, the social dimensions have a huge impact on operators and their relationship with the process, resources (equipment), and human needs. Thus, the decision-making model from this research clearly shows that human factors have direct impact on organization sustainability, specifically in operational management.

Furthermore, owing to the inseparable TBL dimensions in sustainability analysis, this trade-off analysis shows that social and environmental factors are not as important as economic factors. For sustainability evaluation, this trade-off result is a critical problem for a competitive organization. It implies that this indicator is useful for analyzing further decisions to improve organizational performance.

Task 2 reflects the same results as task 1. Economic factors are more critical than social and environmental factors. Specifically, in this case, social factors are less impacted than environmental factors. This implies that managers should consider that task 2 has higher sensitivity to environment than task 1. The economic analysis is higher. However, human needs are not equally considered in the decision-making process, which identifies

possible critical decisions about sustainability.

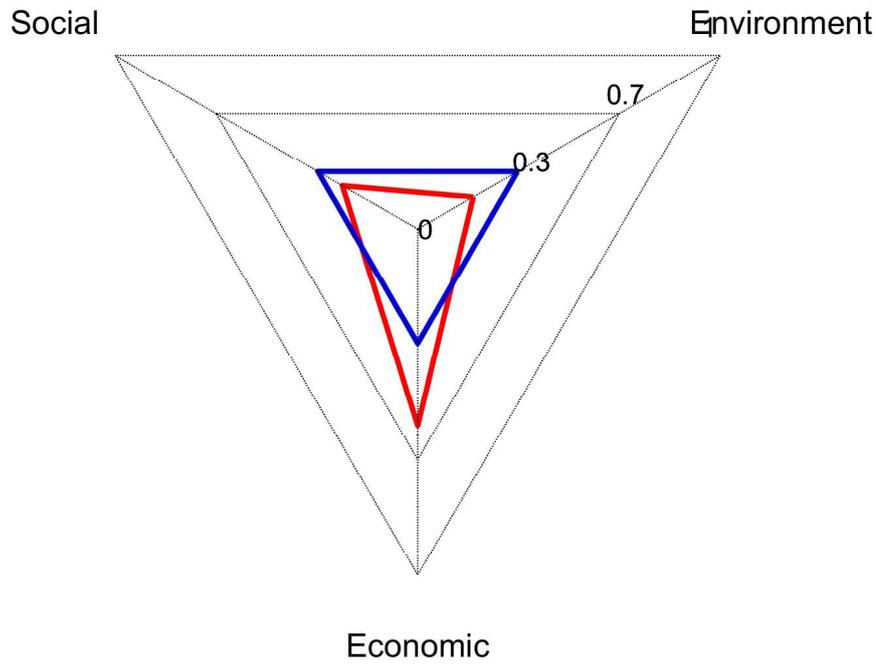


Figure 34 – Trade-off Analysis of sustainability performance in task 1 (tv2).

Source: Author.

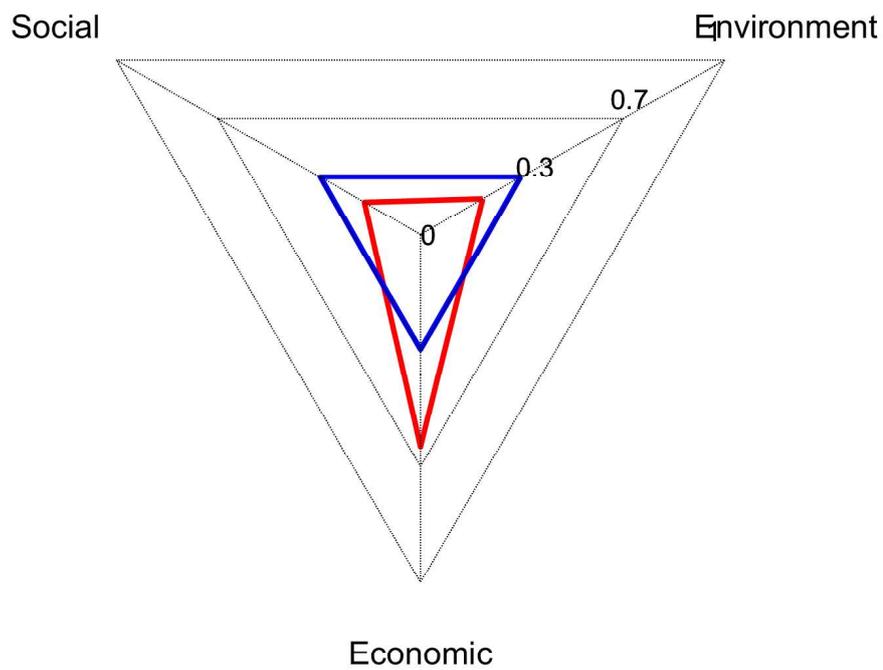


Figure 35 – Trade-off Analysis of sustainability performance in task 2 (tv3).

Source: Author.

Table 9 shows the TVM scores of a trade-off analysis based on the decision-support system proposed by the framework integrating TVM and sustainability dimension impacts.

Tabela 9 – Trade-off analysis parameters.

Task	Economic	Social	Environment
Task 1	0.58	0.24	0.18
Task 2	0.60	0.18	0.22

Source: author.

The proposed framework is a powerful tool to guide managers in making decisions related to operational activities and a sustainability approach. The framework can increase the operational decision efficiency of an organization through a holistic view. The results show that environmental and social dimensions have a lower impact over processes. The trade-off analysis shows that social and environmental dimensions require extra attention in pharmaceutical distribution centers and should be constantly evaluated by managers using the proposed framework.

3.4.5 Conclusions

The sustainability of organizations is necessary to ensure competitiveness in their field and must be evaluated using a holistic view. Specifically, in the operations management level, the TBL should be evaluated to help managers make better decisions. The results of the trade-off analysis of process time variability and TBL sustainability dimensions show that operational managers define their decision-support model with lower impact over social and environmental dimensions in CODSS. The process was validated through a control-chart analysis, identifying the controlled processes for a trade-off analysis. The TVM analysis is more effective if the process is controlled, but it may be used in unbalanced systems as well.

Based on a consolidated framework analysis, this research demonstrates that social and economic dimensions require more attention to improve decision-making and to achieve a more effective and efficient process. Furthermore, the trade-off analysis shows that each task has different impacts on TBL dimensions. Task 1 has more impact in social dimensions, which indicates that human needs should be considered in decisions. Task 2 has more environmental impact in the process; hence, it is evident that sustainability in operations management is essential for organization competitiveness.

As for managerial implications, this research demonstrates that sustainability is essential to improving day-to-day decisions. The trade-off analysis shows how economic dimension drives managers to take operational decisions. First, the control chart shows if the process is controlled. Furthermore, social and environmental impacts are relatively

close to economic decisions that show a clear profitability relationship. This study shows that social and environmental dimensions also drive decisions to higher process efficiency and, by consequence, higher profitability. Specifically, in a CODSS, operations managers who do not insert sustainability in their decisions, are not considering dimensions that can cause a direct impact on organization performance.

This study uses the AHP method to define the decision-support model, but the framework allows the use of quantitative and qualitative methods to achieve better results in the trade-off comparison. Thus, future research based on quantitative models and big data analysis should be used to allow managers to make more effective decisions for their organizations.

Furthermore, this framework is validated in a distribution center and is also consistent for discrete production. However, a future research on the continuous production system is hoped to reach a more effective and global framework. The sustainability analysis and costs of organizational operations may be analyzed by this framework, allowing the financial impacts of sustainability in operations management to be defined better.

Another limitation of this study is that it was only applied for time variability, and if it is used with other variability parameters, a mathematical model adjustment must be defined previously in the framework structure to grant a consistent trade-off analysis.

4 Conclusão

O desenvolvimento de um modelo de tomada de decisão requer além da sistematização dos fluxos do processo e informação, a integração do sistema com a coleta, organização, interpretação e análise dos dados. Especificamente para a gestão operacional, a grande quantidade de dados e a necessidade de resposta em tempo real das atividades que ocorrem no sistema produtivo são requisitos que devem ser inseridos no modelo de tomada de decisão para, assim, aumentar a eficácia e eficiência da decisão e, por consequência, aumentar a eficiência das decisões operacionais da organização.

Entre outros parâmetros inerentes à gestão operacional, a variabilidade do tempo é amplamente estudada e inserida em diversas filosofias de gestão tais como Manufatura Enxuta, Seis Sigma, Gestão da Qualidade Total e Manutenção Produtivo Total. O tempo de produção impacta diretamente no desempenho da organização pois além de limitar a capacidade produtiva, as consequências da variabilidade sobre o processo também afeta outras dimensões de desempenho tais que qualidade e manutenção. Nesse sentido, este estudo apresentou o desenvolvimento e aplicação de um *framework* que analisa em tempo real o direcionamento do modelo de gestão de tomada de decisão quanto ao impacto no desempenho da organização baseado na variabilidade do tempo de produção.

O *framework* foi desenvolvido para permitir a inserção de modelos de tomada de decisão baseado em métodos quantitativos e qualitativos, com coleta de tempos e resposta em tempo real ao sistema produtivo permitindo assim o desenvolvimento de um indicador colaborativo de desempenho quanto a análise do conflito na tomada de decisão entre as dimensões de desempenho analisadas. Ademais, a estrutura relacional da base de dados e os protocolos de comunicação utilizados permitiram gerir o fluxo da informação utilizada no *framework* em tempo real e de forma descentralizada.

O modelo proposto integra a análise da variabilidade do tempo por meio de validação estatística e método de controle de variabilidade ao modelo de tomada de decisão quanto ao seu impacto nas dimensões de desempenho inseridas. Foi realizado a aplicação do *framework* com dois modelos de tomada de decisão. Primeiro foi validado utilizando um modelo constante em uma fábrica de montagem de computadores, baseado em questionário e análise qualitativa de especialistas sobre o impacto da variabilidade do tempo nas dimensões de desempenho de produtividade, qualidade e manutenção. A abordagem qualitativa do modelo de tomada de decisão mostrou robustez quanto a sua aplicação na integração com a coleta e análise dos tempos e o desenvolvimento do indicador colaborativo. Posteriormente o *framework* foi validado utilizando as dimensões de desempenho da sustentabilidade, tais que as dimensões econômica, social e ambiental em um centro de distribuição de

medicamentos. O modelo de tomada de decisão foi desenvolvido utilizando uma análise multicritério, baseado no método de análise hierárquica de processo consolidando assim uma abordagem quali-quantitativa quanto ao modelo de decisão. Em ambos os estudos apresentados o *framework* apresentou robustez quanto a análise dos dados coletados e nos resultados apresentados nos indicadores colaborativos sobre o impacto do modelo de tomada de decisão na organização.

Este estudo propôs uma hipótese que delimita os objetivos gerais e específicos definidos. Inicialmente, a redução da variabilidade do tempo é um conceito limitado quanto às atividades operacionais, comprovado por meio da revisão de literatura realizada no estudo. O uso do *framework* mostrou que a redução da variabilidade é dependente ao modelo de tomada de decisão dos gestores operacionais e seus colaboradores. Apesar das filosofias de gestão buscarem a redução da variabilidade do tempo como forma de atingir maior eficiência no sistema produtivo, a análise do impacto em diferentes dimensões de desempenho mostra que é possível expandir o conceito de redução de variabilidade para gestão da variabilidade do tempo.

Os métodos quantitativos e qualitativos utilizados para a redução da variabilidade não avaliam adequadamente o sistema produtivo. Nesse sentido, a complexidade e grande quantidade de dados nos sistemas operacionais da organização mostra que os métodos são limitados para atender a problemas específicos mesmo que esses tenham impacto em outras dimensões de desempenho. O *framework* apresenta por meio do indicador colaborativo de desempenho o impacto do modelo de gestão sobre todas as dimensões de desempenho analisados e que foram inseridos no modelo de tomada de decisão. Logo, é possível inserir modelos híbridos para a busca da eficiência da organização e analisar de forma global a eficiência da tomada de decisão.

Por fim, a integração dos métodos e ferramentas ao processo decisório proposto pelo uso do *framework* desenvolvido permite abordar o conceito de redução da variabilidade do tempo de forma mais ampla e consolidada. Deve-se inserir nos modelos de tomada de decisão a gestão da variabilidade do tempo, utilizando da variabilidade para tornar a decisão mais eficaz e eficiente quanto às dimensões inseridas no modelo. A variabilidade do tempo é inerente ao processo, logo o *framework* mostra que é possível utilizar a variabilidade para aumentar a excelência operacional por meio da análise global de performance da organização.

As limitações do estudo realizado são divididas em três direcionamentos: limitação tecnológica, operacional e social.

Para as limitações tecnológicas, o *framework* foi desenvolvido para realizar a coleta, organização, análise e interpretação dos dados em tempo real. Para tal foi necessário utilizar do protocolo de comunicação *TCP/IP* permitindo assim a integração das estações de trabalho com o servidor. Nesse estudo foi realizada a simulação das estações de trabalho e

o servidor. Apesar da simulação apresentar velocidade adequada para as etapas exigidas no modelo proposto, o protocolo de comunicação associado a base de dados remota apresentou erros de comunicação que impedia a operacionalização do sistema para grande quantidade de dados.

A análise de dados requer não somente o desenvolvimento de algoritmos otimizados para a redução do consumo de memória dos servidores e estações de trabalho, porém a robustez dos equipamentos utilizados nas estações de trabalho, servidor e base de dados é um fator limitante quanto ao uso de grande quantidade de dados.

Por outro lado, a estrutura da base de dados permitiu um fluxo de informação adequado quanto do acesso aos tempos coletados, à análise do *tradeoff* e ao armazenamento dos indicadores colaborativos. Contudo, em contexto de grande quantidade de dados, a base de dados centralizada se torna limitante quanto a sua capacidade de resposta, criando disrupções no sistema e falta de sincronismo no fluxo da informação. Nesse sentido, esse estudo deve ser validado com outras estruturas de base de dados.

Para as limitações operacionais, esse estudo foi realizado por meio de simulação computacional. A simulação não permitiu analisar o comportamento de implantação do sistema e integração com os equipamentos e máquinas das empresas colaboradoras. Nesse caso existe uma limitação quanto da integração do sistema proposto à planta industrial: há necessidade de instalação de redes de comunicação, instalação de componentes em estações de trabalho e equipamentos de gestão a vista do sistema proposto. Esses elementos essenciais quanto a operacionalização do modelo proposto é um fator limitante quanto à viabilidade do uso do *framework* em plantas industriais de alta complexidade. Ademais, a manutenção dos equipamentos e componentes proposto também apresenta fator limitante pois o sistema não deve interferir nas atividades operacionais da organização.

Por fim, para as limitações sociais, esse estudo não apresentou resultados em relação do uso do sistema pelos gestores e colaboradores da organização. Apesar da robustez do sistema, deve-se analisar a relação entre os usuários do sistema e seu impacto na tomada de decisão. O modelo proposto necessita interferir no fluxo da informação e padroniza o modelo de gestão de tomada de decisão, sendo que o modelo proposto não analisou o comportamento dos usuários do sistema quanto da interação aos resultados obtidos.

O *framework* proposto apresentou robustez no seu uso e se tornou uma ferramenta consolidada de suporte à tomada de decisão. Diante das limitações do estudo, a consolidação dos novos conceitos e do uso do sistema de tomada de decisão é necessária por meio de pesquisas voltadas à elementos metodológicos e operacionais.

Propõe-se a aplicação do *framework* com modelos híbridos de alta complexidade na análise dos dados. Por exemplo, a utilização de métodos quantitativos da área de pesquisa operacional como programação linear, programação não-linear e programação

inteira. Métodos quantitativos que exigem maior número de interações para apresentar resultados se torna um desafio no uso do modelo proposto. Ademais, a integração com métodos qualitativos e que considera fatores humanos e sociais é necessário. Por um lado o desenvolvimento de pesquisa inserindo fatores sociais em modelos de tomada de decisão é de suma importância quando da análise do desempenho da organização, por outro a otimização de processo por meio da análise do uso de recursos também é necessário. Logo, propõe-se a aplicação do *framework* utilizando métodos híbridos para análise da robustez em relação ao fluxo de informação e da velocidade de resposta do algoritmo desenvolvido.

Por fim, propõe-se analisar a viabilidade técnica e econômica do uso do *framework*, componentes e equipamentos necessários em plantas industriais.

Referências

A., R. et al. Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 299–314, 05 2017. Citado na página 98.

ACQUAYE, A. et al. A quantitative model for environmentally sustainable supply chain performance measurement. *European Journal of Operational Research*, v. 269, 11 2017. Citado na página 98.

AGHEZZAF, E.; JAMALI, M.; AIT-KADI, D. An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*, v. 181, n. 2, p. 679 – 685, 2007. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706004693>>. Citado 3 vezes nas páginas 41, 79 e 97.

AHI, P.; SEARCY, C. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, v. 86, p. 360–377, 01 2015. Citado na página 98.

ANDERSSON, C.; BELLGRAN, M. On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining oee and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 35, p. 144 – 154, 2015. ISSN 0278-6125. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612514001502>>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 77.

ANTONY, J.; KUMAR, M.; MADU, C. Six sigma in small- and medium-sized uk manufacturing enterprises: Some empirical observations. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 22, p. 860–874, 10 2005. Citado na página 28.

ARINEZ, J. et al. Quality/quantity improvement in an automotive paint shop: A case study. *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, v. 7, p. 755 – 761, 11 2010. Citado na página 82.

ASGARI, N. et al. Supply chain management 1982-2015: A review. *IMA Journal of Management Mathematics*, v. 27, p. dpw004, 05 2016. Citado na página 71.

Aslam, T.; Amos, H. C. N. Multi-objective optimization for supply chain management: A literature review and new development. In: *2010 8th International Conference on Supply Chain Management and Information*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–8. Citado na página 71.

ATTAWAY, S. Chapter 14 - advanced mathematics. Butterworth-Heinemann, p. 527 – 581, 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128154793000143>>. Citado na página 52.

AZIZOGLU, M.; KONDAKCI, S.; KöKSALAN, M. Single machine scheduling with maximum earliness and number tardy. *Computers & Industrial Engineering*, v. 45, n. 2, p. 257 – 268, 2003. ISSN 0360-8352. 25th International Conference on Computers and Industrial Engineering. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835203000342>>. Citado na página 70.

- BAŞAK, z.; ALBAYRAK, Y. Petri net based decision system modeling in real-time scheduling and control of flexible automotive manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, v. 86, 10 2014. Citado 3 vezes nas páginas 47, 85 e 102.
- BALDWIN, A.; BALDWIN, D.; SEN, T. The evolution and problems of model management research. *Omega*, v. 19, n. 6, p. 511 – 528, 1991. ISSN 0305-0483. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030504839190002B>>. Citado na página 67.
- BANASIK, A. et al. Multi-criteria decision making approaches for green supply chains: a review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, p. 1–31, 11 2016. Citado na página 77.
- BAYKASOGLU, A.; DERELI, T. Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 36, p. 582–588, 01 2008. Citado na página 69.
- BECKETT, A.; WAINWRIGHT, C.; BANCE, D. Implementing an industrial continuous improvement system: A knowledge management case study. *Industrial Management & Data Systems*, v. 100, p. 330–338, 10 2000. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.
- BELEKOUKIAS, I.; GARZA-REYES, J. A.; KUMAR, V. The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, v. 52, 09 2014. Citado na página 28.
- BERTONI, M. Introducing sustainability in value models to support design decision making: A systematic review. *Sustainability*, v. 9, 06 2017. Citado na página 97.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 34, p. 876–940, 07 2014. Citado na página 28.
- BOKRANTZ, J. et al. *Data Quality Problems in Discrete Event Simulation of Manufacturing Operations*. 2017. Citado na página 79.
- BRANDENBURG, M. et al. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research*, v. 233, 03 2014. Citado na página 98.
- CALABRESE, A. et al. Integrating sustainability into strategic decision-making: A fuzzy ahp method for the selection of relevant sustainability issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 11 2018. Citado na página 97.
- CASTRO, D.; PARREIRAS, F. S. A review on multi-criteria decision-making for energy efficiency in automotive engineering. *Applied Computing and Informatics*, 04 2018. Citado na página 77.
- CHANG, P.-C.; CHEN, S.-H.; LIN, K.-L. Two-phase sub population genetic algorithm for parallel machine-scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, v. 29, p. 705–712, 10 2005. Citado na página 70.

CHAVEZ, R. et al. Customer integration and operational performance: The mediating role of information quality. *Decision Support Systems*, v. 80, p. 83 – 95, 2015. ISSN 0167-9236. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923615001955>>. Citado 3 vezes nas páginas 32, 40 e 78.

CHEN, W.-J. An efficient algorithm for scheduling jobs on a machine with periodic maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 34, p. 1173–1182, 11 2007. Citado na página 70.

CHO, D. W. et al. A framework for measuring the performance of service supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, v. 62, n. 3, p. 801 – 818, 2012. ISSN 0360-8352. Soft Computing for Management Systems. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835211003378>>. Citado na página 62.

CHOE, K.; BOOTH, D.; HU, M. Production competence and its impact on business performance. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 16, n. 6, p. 409 – 421, 1997. ISSN 0278-6125. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612597816998>>. Citado na página 80.

CHUTIMA, P.; CHIMKLAI, P. Multi-objective two-sided mixed-model assembly line balancing using particle swarm optimisation with negative knowledge. *Computers & Industrial Engineering*, v. 62, p. 39–55, 02 2012. Citado na página 69.

COBO, M. et al. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. *Journal of Informetrics*, v. 5, n. 1, p. 146 – 166, 2011. ISSN 1751-1577. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157710000891>>. Citado na página 64.

COBO, M. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 62, p. 1382 – 1402, 07 2011. Citado na página 64.

COCHRAN, J. K.; HORNG, S.-M.; FOWLER, J. W. A multi-population genetic algorithm to solve multi-objective scheduling problems for parallel machines. *Computers & Operations Research*, v. 30, n. 7, p. 1087 – 1102, 2003. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505480200059X>>. Citado na página 70.

COELHO, L.; LANGE, L.; COELHO, H. Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research*, v. 35, 09 2016. Citado na página 77.

COLLEDANI, M. et al. Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 63, 08 2014. Citado 5 vezes nas páginas 39, 40, 76, 78 e 81.

CROOM, S. et al. Impact of social sustainability orientation and supply chain practices on operational performance. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 38, 08 2018. Citado na página 99.

- DANESH, D.; RYAN, M.; ABBASI, A. Multi-criteria decision-making methods for project portfolio management: A literature review. *International Journal of Management and Decision Making*, v. 17, p. 75, 01 2018. Citado na página 77.
- DAROM, N. A. et al. An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration. *Journal of Cleaner Production*, v. 197, 06 2018. Citado na página 96.
- DAVIDRAJUH, R. *Modeling and Simulation of Discrete Event Systems with Petri Nets: A Hands-On Approach with GPenSIM*. Saarbrücken, DEU: VDM Verlag, 2009. ISBN 3639195663. Citado na página 90.
- DAVIDRAJUH, R.; LIN, B. Exploring airport traffic capability using petri net based model. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 9, p. 10923 – 10931, 2011. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411003551>>. Citado na página 53.
- DEIF, A.; ELMARAGHY, H. Cost performance dynamics in lean production leveling. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 33, 06 2014. Citado na página 99.
- DEIF, A. M.; ELMARAGHY, H. Cost performance dynamics in lean production leveling. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 33, n. 4, p. 613 – 623, 2014. ISSN 0278-6125. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027861251400065X>>. Citado na página 80.
- DELICE, y.; AYDOGAN, E.; ÖZCAN, U. Stochastic two-sided u-type assembly line balancing: A genetic algorithm approach. *International Journal of Production Research*, v. 54, p. 1–23, 02 2016. Citado na página 69.
- DELICE, y. et al. A modified particle swarm optimization algorithm to mixed-model two-sided assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 28, 09 2014. Citado na página 69.
- DRAKAKI, M.; TZIONAS, P. Manufacturing scheduling using colored petri nets and reinforcement learning. *Applied Sciences*, v. 7, p. 136, 02 2017. Citado 3 vezes nas páginas 47, 85 e 102.
- EGHTESADIFARD, M.; KHALIFEH, M.; KHORRAM, M. A systematic review of research themes and hot topics in assembly line balancing through the web of science within 1990–2017. *Computers & Industrial Engineering*, v. 139, p. 106182, 2020. ISSN 0360-8352. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835219306515>>. Citado na página 69.
- El Mouayni, I. et al. A simulation-based approach for time allowances assessment during production system design with consideration of worker’s fatigue, learning and reliability. *Computers & Industrial Engineering*, v. 139, p. 105650, 2020. ISSN 0360-8352. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835219300312>>. Citado na página 81.
- EMERY, C. A cause-effect-cause model for sustaining cross-functional integration. *Business Process Management Journal*, v. 15, p. 93–108, 02 2009. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 78.

- EREN, T. A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect of setup and removal times. *Applied Mathematical Modelling*, v. 33, n. 2, p. 1141 – 1150, 2009. ISSN 0307-904X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X08000097>>. Citado na página 70.
- ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. *The evolution and future of manufacturing: A review*. 2016. 79-100 p. Citado na página 73.
- FAGUNDES, M. V. C. et al. Decision-making models and support systems for supply chain risk: literature mapping and future research agenda. *European Research on Management and Business Economics*, v. 26, n. 2, p. 63 – 70, 2020. ISSN 2444-8834. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444883418302602>>. Citado na página 72.
- FANG, C.; MARLE, F. A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. *Decision Support Systems*, v. 52, n. 3, p. 635 – 644, 2012. ISSN 0167-9236. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923611002016>>. Citado na página 77.
- FERRO, R.; COOPER, R.; ANHOLON, R. Analysis of the integration between operations management manufacturing tools with discrete event simulation. *Production Engineering*, 07 2017. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 99.
- FLYNN, B.; SCHROEDER, R.; SAKAKIBARA, S. The impact of quality management practices on performance and competitive advantage. *Decision Sciences*, v. 26, p. 659 – 691, 06 2007. Citado na página 28.
- FRAMINAN, J.; FERNANDEZ-VIAGAS, V.; PEREZ-GONZALEZ, P. Using real-time information to reschedule jobs in a flowshop with variable processing times. *Computers & Industrial Engineering*, v. 129, 01 2019. Citado 2 vezes nas páginas 79 e 100.
- FRANKE, U.; CICOZZI, F. Characterization of trade-off preferences between non-functional properties. *Information Systems*, v. 74, 09 2017. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 77.
- GAN, V. J.; CHENG, J. C.; LO, I. M. Integrating life cycle assessment and multi-objective optimization for economical and environmentally sustainable supply of aggregate. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 76 – 85, 2016. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261501820X>>. Citado na página 98.
- GANESH, S. et al. Design of condition-based maintenance framework for process operations management in pharmaceutical continuous manufacturing. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 587, p. 119621, 07 2020. Citado na página 96.
- GARDNER, J. W. Managing production yields and rework through feedback on speed, quality, and quantity. *Production and Operations Management*, v. 29, n. 9, p. 2182–2209, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.
- GEBENNINI, E. et al. Discrete time model of a two-station one-buffer serial system with inventory level-dependent operation. *Computers & Industrial Engineering*, v. 113, p. 46–63, 11 2017. Citado 3 vezes nas páginas 41, 79 e 97.

- GOPAL, P.; THAKKAR, J. A review on supply chain performance measures and metrics: 2000-2011. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 61, p. 518–547, 06 2012. Citado na página 73.
- GREEN, K. et al. Impact of jit, tqm and green supply chain practices on environmental sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 30, 09 2018. Citado na página 99.
- GROSSWIELE, L.; ROEGLINGER, M.; FRIEDL, B. A decision framework for the consolidation of performance measurement systems. *Decision Support Systems*, v. 54, p. 1016–1029, 01 2013. Citado na página 78.
- HAHN, G. J.; DOGANAKSOY, N.; HOERL, R. The evolution of six sigma. *Quality Engineering*, Taylor & Francis, v. 12, n. 3, p. 317–326, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/08982110008962595>>. Citado na página 28.
- HARAL, U. et al. Multiobjective single machine scheduling with nontraditional requirements. *International Journal of Production Economics*, v. 106, p. 574–584, 02 2007. Citado na página 70.
- HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 24, 10 2004. Citado na página 28.
- HOLWEG, M. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, v. 25, n. 2, p. 420 – 437, 2007. ISSN 0272-6963. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696306000313>>. Citado na página 63.
- HU, W.; HE, X. An innovative time-cost-quality tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation. *TheScientificWorldJournal*, v. 2014, p. 673248, 01 2014. Citado na página 82.
- HUM, S.-H.; SIM, H. Time-based competition: literature review and implications for modelling. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 16, p. 75–90, 1996. Citado na página 70.
- IRFANI, D.; WIBISONO, D.; BASRI, M. Integrating performance measurement, system dynamics, and problem-solving methods. *International Journal of Productivity and Performance Management*, ahead-of-print, 10 2019. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.
- JOHANSSON A.; GUSTAVSSON, L. P. L. Sustainable manufacturing - hand in hand to sustainability on globe: Proceedings of the 17th global conference on sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing*, v. 43, p. 1, 2020. ISSN 2351-9789. Sustainable Manufacturing - Hand in Hand to Sustainability on Globe: Proceedings of the 17th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306727>>. Citado na página 98.
- JOLAI, F. et al. Genetic algorithm for bi-criteria single machine scheduling problem of minimizing maximum earliness and number of tardy jobs. *Applied Mathematics and Computation*, v. 194, n. 2, p. 552 – 560, 2007. ISSN 0096-3003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300307005103>>. Citado na página 70.

JUNIOR, W. et al. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 128, 02 2019. Citado 3 vezes nas páginas 30, 41 e 79.

KANNAN, V.; TAN, K.-C. Just in time, total quality management, and supply chain management: Understanding their linkages and impact on business performance. *Omega*, v. 33, p. 153–162, 04 2005. Citado 3 vezes nas páginas 41, 79 e 98.

KARMARKAR, U.; KEKRE, S. Manufacturing configuration, capacity and mix decisions considering operational costs. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 6, p. 315–324, 1987. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 99.

KAYA, h.; ÇOLAK, M.; TERZI, F. Use of mcdm techniques for energy policy and decision-making problems: A review. *International Journal of Energy Research*, v. 42, 02 2018. Citado na página 77.

KEMPENAERS, J. et al. A collaborative process planning and scheduling system. *Advances in Engineering Software*, v. 25, p. 3–8, 1994. Citado na página 79.

KEMPENAERS, J. et al. A collaborative process planning and scheduling system. *Advances in Engineering Software*, v. 25, p. 3–8, 1994. Citado na página 100.

KHORASANIAN, D.; HEJAZI, S.; MOSLEHI, G. Two-sided assembly line balancing considering the relationships between tasks. *Computers & Industrial Engineering*, v. 66, p. 1096–1105, 12 2013. Citado na página 69.

KIM, Y.; KIM, Y.; KIM, Y. Two-sided assembly line balancing: A genetic algorithm approach. *Production Planning & Control*, v. 11, p. 44–53, 01 2000. Citado na página 69.

KIM, Y.; STING, F.; LOCH, C. Top-down, bottom-up, or both? toward an integrative perspective on operations strategy formation. *Journal of Operations Management*, v. 32, p. 462–274, 11 2014. Citado na página 78.

KöksALAN, M.; Burak Keha, A. Using genetic algorithms for single-machine bicriteria scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, v. 145, n. 3, p. 543 – 556, 2003. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221702002205>>. Citado na página 70.

KOEIJER, B. de; LANGE, J. D.; WEVER, R. Desired, perceived, and achieved sustainability: Trade-offs in strategic and operational packaging development. *Sustainability*, v. 9, p. 1923, 10 2017. Citado na página 97.

KUCUKKOC, I. Type-e parallel two-sided assembly line balancing problem: Mathematical model and ant colony optimisation based approach with optimised parameters. *Computers & Industrial Engineering*, v. 84, 06 2015. Citado na página 69.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. de A. *Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos*. [S.l.]: Atlas, 1992. ISBN 9788522408597. Citado na página 37.

LAYEB, S. et al. A simulation-optimization approach for scheduling in stochastic freight transportation. *Computers & Industrial Engineering*, v. 126, 09 2018. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 99.

- LEI, D. Multi-objective production scheduling: A survey. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 43, p. 926–938, 08 2009. Citado na página 70.
- (LETCHER, R. et al. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. *Environmental Modelling & Software*, v. 47, p. 159–181, 11 2013. Citado na página 99.
- LI, Z.; KUCUKKOC, I.; ZHANG, Z. Branch, bound and remember algorithm for two-sided assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, v. 284, n. 3, p. 896 – 905, 2020. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720300539>>. Citado na página 69.
- LIN, Y.-K.; LIN, H.-C. Bicriteria scheduling problem for unrelated parallel machines with release dates. *Computers & Operations Research*, v. 64, p. 28 – 39, 2015. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054815001203>>. Citado na página 70.
- LOHMAN, C.; FORTUIN, L.; WOUTERS, M. Designing a performance measurement system: A case study. *European Journal of Operational Research*, v. 156, n. 2, p. 267 – 286, 2004. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221702009189>>. Citado na página 62.
- LOPEZ-TORRES, G. et al. Knowledge management for sustainability in operations. *Production Planning and Control*, 08 2017. Citado na página 98.
- LUTHRA, S.; MANGLA, S. Evaluating challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, 05 2018. Citado na página 98.
- MACCORMACK, A. et al. Trade-offs between productivity and quality in selecting software development practices. *Software, IEEE*, v. 20, p. 78 – 85, 10 2003. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 77.
- MACKENZIE, D. I. et al. (Ed.). Second edition. Boston: Academic Press, 2018. xxi - xxiii p. ISBN 978-0-12-407197-1. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124071971000284>>. Citado na página 84.
- MADAPUSI, A.; D'SOUZA, D. The influence of erp system implementation on the operational performance of an organization. *International Journal of Information Management - INT J INFORM MANAGE*, v. 32, 02 2012. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 79.
- MAGALHÃES, R.; DANILEVICZ, n.; PALAZZO, J. Managing trade-offs in complex scenarios: A decision-making tool for sustainability projects. *Journal of Cleaner Production*, v. 212, 12 2018. Citado na página 77.
- MAGON, R. B. et al. Sustainability and performance in operations management research. *Journal of Cleaner Production*, v. 190, p. 104 – 117, 2018. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618311673>>. Citado 2 vezes nas páginas 97 e 98.

- MARDANI, A. et al. Determining the utility in management by using multi-criteria decision support tools: a review. *Ekonomiska Istraživanja / Economic Research*, In Press, 09 2018. Citado na página 77.
- MATTIUSI, A.; JOHN, M.; SIMEONI, P. A decision support system for sustainable energy supply combining multi-objective and multi-attribute analysis: An australian case study. *Decision Support Systems*, v. 57, p. 150–159, 01 2014. Citado na página 98.
- MENTZER, J. et al. Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, v. 22, 09 2001. Citado na página 71.
- MITRA, S. et al. Operational risk: Emerging markets, sectors and measurement. *European Journal of Operational Research*, v. 241, p. 122–132, 02 2015. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.
- MÜLLER, R.; OEHM, L. Process industries versus discrete processing: how system characteristics affect operator tasks. *Cognition, Technology & Work*, v. 21, p. 1–20, 07 2018. Citado 2 vezes nas páginas 81 e 99.
- MODGIL, S.; SHARMA, S. Information systems, supply chain management and operational performance: Tri-linkage—an exploratory study on pharmaceutical industry of india. *Global Business Review*, v. 18, p. 652 – 677, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 97 e 98.
- MOKTADIR, M. et al. Barriers to big data analytics in manufacturing supply chains: A case study from bangladesh. *Computers & Industrial Engineering*, 04 2018. Citado na página 77.
- MONTGOMERY, D. *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley, 2009. ISBN 9780470233979. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=oG1xPgAACAAJ>>. Citado 5 vezes nas páginas 41, 47, 79, 85 e 102.
- MOYANO-FUENTES, J.; MARTÍNEZ-JURADO, P. Lean management, supply chain management and sustainability: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 85, p. 134–150, 12 2014. Citado 2 vezes nas páginas 96 e 98.
- MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: A review of thinking and research. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 32, p. 551–582, 04 2012. Citado na página 28.
- Mrad, M. et al. Risk assessment for discrete stochastic time-cost-quality trade-off problem using simulation-based integer linear programming approach. *IEEE Access*, v. 7, p. 32453–32463, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 79.
- MURATA, T. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, v. 77, n. 4, p. 541–580, 1989. Citado 7 vezes nas páginas 47, 48, 56, 85, 102, 103 e 107.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 25, p. 1228–1263, 12 2005. Citado na página 72.
- NEGAHBAN, A.; SMITH, J. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 33, 04 2014. Citado 3 vezes nas páginas 41, 79 e 97.

- OHYVER, M. et al. The comparison firebase realtime database and mysql database performance using wilcoxon signed-rank test. *Procedia Computer Science*, v. 157, p. 396 – 405, 2019. ISSN 1877-0509. The 4th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCSCI 2019) : Enabling Collaboration to Escalate Impact of Research Results for Society. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919311500>>. Citado na página 54.
- OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. The delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, v. 42, p. 15–29, 12 2004. Citado na página 87.
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 31, 01 2020. Citado na página 73.
- PARAST, M. The effect of six sigma projects on innovation and firm performance. *International Journal of Project Management - INT J PROJ MANAG*, v. 29, p. 45–55, 01 2011. Citado 3 vezes nas páginas 40, 78 e 79.
- PARENTE, M. et al. Production scheduling in the context of industry 4.0: review and trends. *International Journal of Production Research*, v. 58, p. 1–31, 02 2020. Citado na página 70.
- PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, v. 10, p. 3821, 10 2018. Citado na página 73.
- PIGNEUR, Y.; JOYCE, A.; PAQUIN, R. The triple layered business model canvas: a tool to design more sustainable business models. In: . [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 97.
- PINEDO, M. L. *Scheduling*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 70.
- PLAZA, M.; ZEBALA, W.; MATRAS, A. Decision system supporting optimization of machining strategy. *Computers & Industrial Engineering*, v. 127, 11 2018. Citado na página 78.
- PONT, G.; FURLAN, A.; VINELLI, A. Interrelationships among lean bundles and their effects on operational performance. *Operations Management Research*, v. 1, p. 150–158, 12 2008. Citado na página 29.
- POPESCU, G. et al. Measuring sustainable competitiveness in contemporary economies—insights from european economy. *Sustainability*, v. 9, p. 1230, 07 2017. Citado na página 97.
- POPOLI, P. Designing management control systems: Systemic vs sectoral approach. *International Journal of Business and Management*, v. 14, p. 130, 05 2019. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 78.
- POPOVIC, M.; KUZMANOVIC, M.; SAVIC, G. A comparative empirical study of analytic hierarchy process and conjoint analysis: Literature review. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, v. 1, 10 2018. Citado na página 77.
- PRAJAPAT, N.; TIWARI, A. A review of assembly optimisation applications using discrete event simulation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, p. 1–14, 03 2016. Citado 3 vezes nas páginas 29, 79 e 98.

PRAJOGO, D.; OLHAGER, J. Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*, v. 135, n. 1, p. 514 – 522, 2012. ISSN 0925-5273. Advances in Optimization and Design of Supply Chains. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527311003872>>. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 63.

PRAJOGO, D. et al. The relationships between information management, process management and operational performance: Internal and external contexts. *International Journal of Production Economics*, v. 199, 03 2018. Citado 5 vezes nas páginas 29, 40, 78, 79 e 98.

PROEHL, R. Enhancing the effectiveness of cross-functional teams. *Leadership & Organization Development Journal*, v. 17, p. 3–10, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 78.

RASHIDI, K. Ahp versus dea: a comparative analysis for the gradual improvement of unsustainable suppliers. *Benchmarking: An International Journal*, ahead-of-print, 07 2020. Citado 4 vezes nas páginas 51, 98, 104 e 105.

REGALIZA, J. P. et al. Systemic approach to supply chain management through the viable system model and the theory of constraints. *Production Planning & Control*, v. 27, p. 421–430, 02 2016. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 78.

RIVERA-GOMEZ, H. et al. Joint optimization of production and maintenance strategies considering a dynamic sampling strategy for a deteriorating system. *Computers & Industrial Engineering*, 01 2020. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.

ROBSON, K.; MACINTYRE, J.; TRIMBLE, R. Measuring the status and alignment of maintenance and manufacturing strategies - the development of a new model and diagnostic tool. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 19, 10 2013. Citado na página 82.

ROSENZWEIG, E.; EASTON, G. Tradeoffs in manufacturing? a meta-analysis and critique of the literature. *Production and Operations Management*, v. 19, p. 127 – 141, 03 2010. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 79.

RUIZ, M. et al. Using simulation-based optimization in the context of it service management change process. *Decision Support Systems*, v. 112, 06 2018. Citado na página 77.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9 – 26, 1990. ISSN 0377-2217. Decision making by the analytic hierarchy process: Theory and applications. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>>. Citado 3 vezes nas páginas 51, 104 e 105.

SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. The integration of six sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 1, p. 249–274, 08 2010. Citado na página 28.

- SANTA, R. et al. Contribution of cross-functional teams to the improvement in operational performance. *Team Performance Management*, v. 16, p. 148–168, 06 2010. Citado 5 vezes nas páginas 32, 40, 77, 78 e 98.
- SANT’ANNA, n. Framework of decision in data modeling for quality improvement. *The TQM Journal*, v. 27, p. 135–149, 01 2015. Citado 3 vezes nas páginas 39, 77 e 79.
- SARTAL, A. et al. How much does lean manufacturing need environmental and information technologies? *Journal of Manufacturing Systems*, v. 45, 12 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 82.
- SCHARDONG, G. et al. Visual interactive support for selecting scenarios from time-series ensembles. *Decision Support Systems*, v. 113, 08 2018. Citado na página 80.
- SCHROEDER, R. et al. Six sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, v. 26, p. 536–554, 07 2008. Citado na página 28.
- SEURING, S.; GOLD, S. Sustainability management beyond corporate boundaries: From stakeholders to performance. *Journal of Cleaner Production*, v. 56, p. 1–6, 10 2013. Citado na página 98.
- SHAD, K. et al. Integrating sustainability reporting into enterprise risk management and its relationship with business performance: A conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 208, 10 2018. Citado na página 97.
- SHAH, R.; WARD, P. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, v. 25, p. 785–805, 06 2007. Citado na página 29.
- SHAMSUDDOHA, M. Integrated supply chain model for sustainable manufacturing: A system dynamics approach. v. 22, p. 155–399, 10 2015. Citado na página 98.
- SHEPHERD, C.; GUENTER, H. Measuring supply chain performance: Current research and future directions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 55, p. 242–258, 04 2006. Citado na página 72.
- SIMARIA, A.; VILARINHO, P. 2-antbal: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines. *Computers & Industrial Engineering*, v. 56, p. 489–506, 03 2009. Citado na página 69.
- SITORUS, F.; CILLIERS, J.; BRITO-PARADA, P. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends. *Expert Systems with Applications*, v. 121, p. 393–417, 05 2019. Citado na página 77.
- STALK, G. J. Time – the next source of competitive advantage. *Harvard Business Review*, p. 41–51, 1988. Citado na página 70.
- STINDT, D. A generic planning approach for sustainable supply chain management - how to integrate concepts and methods to address the issues of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, v. 153, 03 2017. Citado na página 98.
- SWINK, M.; NARASIMHAN, R.; KIM, S. Manufacturing practices and strategy integration: Effects on cost efficiency, flexibility, and market-based performance. *Decision Sciences*, v. 36, p. 427 – 457, 08 2005. Citado na página 81.

TAN, J.; WANG, L. Flexibility–efficiency tradeoff and performance implications among chinese soes. *Journal of Business Research*, v. 63, p. 356–362, 04 2010. Citado na página 82.

THOMAS, A.; BARTON, R.; CHUKE-OKAFOR, C. Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 20, p. 113–129, 12 2008. Citado na página 28.

T'KINDT, V.; BILLAUT, J.-C.; PROUST, C. Solving a bicriteria scheduling problem on unrelated parallel machines occurring in the glass bottle industry. *European Journal of Operational Research*, v. 135, p. 42–49, 11 2001. Citado na página 70.

TORTORELLA, G.; FETTERMANN, D. Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, v. 56, p. 1–13, 10 2017. Citado na página 73.

Trigueiro de Sousa Junior, W. et al. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 128, p. 526 – 540, 2019. ISSN 0360-8352. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521830682X>>. Citado na página 98.

TUPPER, C. D. 10 - models and model repositories. In: TUPPER, C. D. (Ed.). *Data Architecture*. Boston: Morgan Kaufmann, 2011. p. 191 – 205. ISBN 978-0-12-385126-0. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012385126000103>>. Citado na página 67.

UKKO, J. et al. Sustainability strategy as a moderator in the relationship between digital business strategy and financial performance. *Journal of Cleaner Production*, p. 117626, 07 2019. Citado na página 97.

UZ-ZAMAN, K. A. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, v. 19, p. 169–196, 02 2013. Citado na página 28.

VIVAS, R. et al. Integrated method combining analytical and mathematical models for the evaluation and optimization of sustainable supply chains: A brazilian case study. *Computers & Industrial Engineering*, v. 139, 01 2019. Citado 2 vezes nas páginas 77 e 98.

WANG, H. et al. An integrated mcdm approach considering demands-matching for reverse logistics. *Journal of Cleaner Production*, v. 208, 10 2018. Citado na página 77.

WANG, S.; WANG, X.; ZHANG, J. A review of flexible processes and operations. *Production and Operations Management*, 09 2019. Citado na página 78.

WEINSTEIN, L.; CHUNG, C.-H. Integrating maintenance and production decisions in a hierarchical production planning environment. *Comput. Oper. Res.*, v. 26, p. 1059–1074, 1999. Citado na página 82.

WEISS, B.; SHARP, M.; KLINGER, A. Developing a hierarchical decomposition methodology to increase manufacturing process and equipment health awareness. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 48, 03 2018. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.

- WILSON, J. The triple bottom line: Undertaking an economic, social, and environmental retail sustainability strategy. *International Journal of Retail & Distribution Management*, v. 43, p. 432–447, 05 2015. Citado na página 97.
- WOMACK J., J. D.; ROSS, D. *The Machine That Changed the World*. [S.l.: s.n.], 1990. Citado na página 28.
- XU, Z. et al. Collaborative project management: A systemic approach to heavy equipment manufacturing project management. *Systemic Practice and Action Research*, v. 27, p. 141–164, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 78.
- YANG, D. et al. Decision support to product configuration considering component replenishment uncertainty: A stochastic programming approach. *Decision Support Systems*, v. 105, 11 2017. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 99.
- YEGUL, M. et al. Improving configuration of complex production lines via simulation-based optimization. *Computers & Industrial Engineering*, v. 109, 04 2017. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 99.
- YU, D. et al. A bibliometric analysis of research on multiple criteria decision making. *Current Science*, v. 114, p. 747–758, 02 2018. Citado na página 77.
- ZAHIRI, B.; ZHUANG, J.; MOHAMMADI, M. Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 103, n. C, p. 109–142, 2017. Citado na página 98.
- ÖZCAN, U.; GÖKÇEN, H.; TOKLU, B. Balancing parallel two-sided assembly lines. *International Journal of Production Research - INT J PROD RES*, v. 48, p. 4767–4784, 08 2010. Citado na página 69.