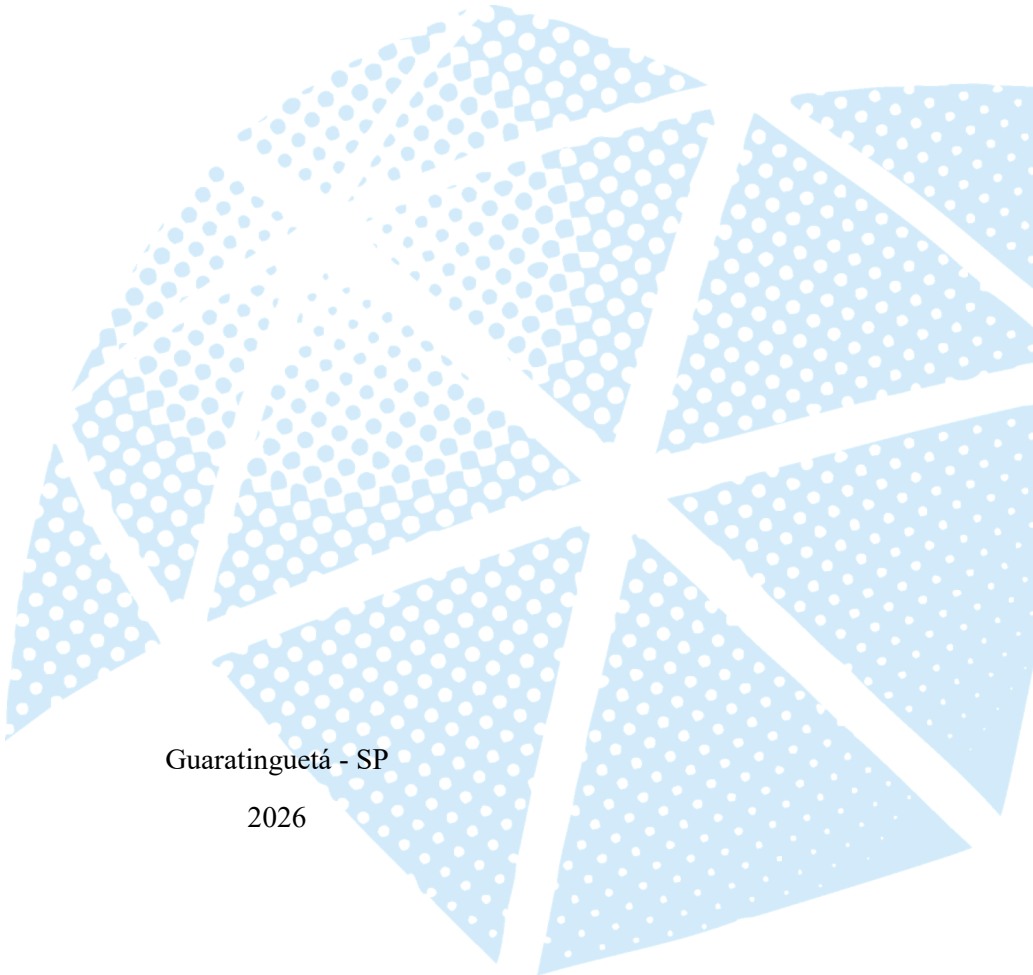
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

Júlio de Mesquita Filho - Campus de Guaratinguetá

EDGAR JUNIOR ALVES DE ARAUJO

UM MODELO PARA ALCANCE DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL EM DIREÇÃO À MANUFATURA SUSTENTÁVEL



Guaratinguetá - SP

2026

EDGAR JUNIOR ALVES DE ARAUJO

UM MODELO PARA ALCANCE DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL EM DIREÇÃO À MANUFATURA SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de operações com ênfase em excelência operacional na indústria de manufatura.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Contador

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior

Guaratinguetá - SP

2026

A663m

Araujo, Edgar Junior Alves de
Um Modelo para alcance da excelência operacional em direção à manufatura sustentável / Edgar Junior Alves de Araújo - Guaratinguetá, 2026.
76 f : il.
Bibliografia: f. 71-73

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2026.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Contador
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Muniz

1. Planejamento dos recursos de manufatura.
2. Administração da produção. 3. Processo decisório.
4. Desenvolvimento organizacional. I. Título.

CDU 658.62(043)

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa contribui para o melhor diagnóstico em linhas de manufatura em direção à excelência operacional, fortalecendo os fatores de maior impacto para agregar valor e gerar resultados na gestão operacional da produção.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to improving diagnostics in manufacturing lines toward operational excellence, strengthening the factors with the greatest impact on adding value and generating results in production operations management.

EDGAR JUNIOR ALVES DE ARAUJO

UM MODELO PARA ALCANCE DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL EM DIREÇÃO À MANUFATURA SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção – Mestrado Profissional

Data da defesa: 09/09/2026

Banca examinadora:

Prof. Dr. JOSE LUIZ CONTADOR
Orientador - UNESP

gov.br Documento assinado digitalmente
DARIO IKUO MIYAKE
Data: 08/10/2026 19:21:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. DARIO IKUO MIYAKE
USP

Profa. Dra. YASMIN SILVA MARTINS XAVIER
UNESP

Dedico este trabalho, primeiramente, à minha família, à minha esposa e aos meus filhos, pelo apoio durante essa longa jornada, vocês foram a base e a minha inspiração para seguir em frente e sempre serão.

Aos professores que fizeram parte da minha trajetória, transmitindo conhecimento adequado, e desafiando o desenvolvimento de questões relevantes.

Dedico também à empresa NSK Brasil, que me apoiou durante essa jornada e proporcionou parte da minha rotina para o estudo e o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este projeto de pesquisa propõe um modelo de referência voltado ao diagnóstico e à busca da excelência operacional em linhas de manufatura. O modelo proposto estabelece “pilares da excelência operacional” e apresenta um processo estruturado para identificar ações que promovam a estabilidade do processo produtivo, caracterizada por mínimas perdas, elevada disponibilidade e uso eficiente dos recursos, alcançando um nível de desempenho superior aos padrões tradicionalmente observados. O objetivo é compreender quais fatores impulsionam o alcance da excelência operacional, destacando a *performance* operacional em linhas de produção por meio da disponibilidade, eficiência e qualidade, bem como fatores que reduzem custos operacionais e ampliam a lucratividade, considerando simultaneamente a diversificação de produtos na linha de produção e o foco no atendimento ao cliente com flexibilidade, rapidez e confiabilidade. Para atingir esses resultados, o modelo proposto contempla a análise de desempenho do processo produtivo de forma sustentável, diagnosticando o processo e abordando a importância do gerenciamento de recursos produtivos. O modelo proposto será aplicado em uma linha de produção de uma indústria de rolamentos, permitindo verificar a aplicabilidade dos pilares de excelência operacional em um ambiente real. Como conclusão do estudo realizado os resultados possibilitam medir com precisão a condição atual da linha de manufatura sob a ótica da excelência operacional e orientar a tomada de decisão por meio do modelo CAC (Campos e Armas da Competição) para implementação de ações administrativas e melhoria do processo. Por fim, o estudo propõe um modelo estruturado cuja aplicação possa futuramente ser expandida para outras empresas e suas linhas de manufatura.

Palavras-chave: Excelência operacional; Manufatura; Pilares de excelência operacional; Estabilidade do processo produtivo; Campos e Armas da Competição.

ABSTRACT

This research project proposes a reference model aimed at diagnosing and searching operational excellence in manufacturing lines. The proposed model establishes "operational excellence pillars" and presents a structured process to identify actions that promote production process stability, characterized by minimal losses, high availability, and efficient use of resources, achieving a level of performance superior to standards traditionally observed. The objective is to understand which factors drive the achievement of operational excellence, highlighting operational performance in production lines through availability, efficiency, and quality, as well as factors that reduce operational costs and increase profitability, while simultaneously considering product diversification on the production line and focusing on customer service through flexibility, speed, and reliability. To achieve these results, the proposed model includes the analysis of production process performance in a sustainable manner, diagnosing the process and addressing the importance of managing productive resources. The proposed model will be applied to a production line in a bearing manufacturing industry, allowing verification of the applicability of the operational excellence pillars in a real-world environment. As a conclusion of the study conducted, the results make it possible to accurately measure the current condition of the manufacturing line from the perspective of operational excellence and guide decision-making through the CAC (Fields and Weapons of Competition) model for the implementation of managerial actions and process improvement. Finally, the study proposes a structured model whose application may, in the future, be expanded to other companies and their manufacturing lines.

Keywords: Operational excellence; Manufacturing; Operational excellence pillars; Production process stability; Fields and Weapons of Competition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Pesquisa bibliométrica para aplicações sobre Excelência operacional 17
Figura 1 - Elevação da estabilidade do OEE e melhorias em produtividade e custo 18
Figura 2 - Relação entre as variáveis de controle e a excelência operacional 19
Quadro 2 - Pesquisa bibliométrica para aplicações sobre Sustentabilidade na manufatura. 21
Figura 3 - Tripé da sustentabilidade na manufatura 23
Figura 4 – OEE - *Overall Equipment Effectiveness* 26
Figura 5 - TPM - *Total Productive Maintenance* 27
Figura 6 - WCM - *World Class Manufacturing* 28
Quadro 3 - Os 14 campos da competição 31
Quadro 4 - O significado de cada um dos 14 campos da competição 32
Quadro 5 - Pesos para priorização de armas 36
Figura 7 - Método esquemático para etapas de elaboração 44
Quadro 6 - Análise descritiva de artigos 45
Figura 8 – Pesos para relevância e intensidade 49
Quadro 7 - Elaboração do modelo proposto através da análise de referências 51
Figura 9 - Modelo proposto para alcance da excelência operacional 52
Quadro 8 – Configuração conceitual dos elementos constituintes do modelo proposto 55
Figura 10 - Definições do OEE e de seus componentes 57
Figura 11 - Gráfico de dados coletados na indústria de rolamentos 62
Quadro 9 - Ações administrativas para melhoria de intensidade (referência na Tabela 11). 79
Quadro 10 - Pilares x Campos da competição 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representação dos Campos da competição 38

Tabela 2 - Resultados de testes para os doze segmentos de negócio 39

Tabela 3 - Resultados de seis estudos mais recentes sobre o modelo CAC 41

Tabela 4 - Respondentes da priorização de armas da competição por pilar 48

Tabela 5 - Medição da linha da manufatura AS13 com base nos pilares do modelo 62

Tabela 6 - Dados para elucidação do problema 64

Tabela 7 - Variáveis fundamentais do modelo CAC e suas correlações com os indicadores de resultado 66

Tabela 8 - Resultado da aplicação das regras gerais e regras para NSK 69

Tabela 9 - Primeira fase da elucidação (empresas do mesmo segmento de negócio e NSK).71

Tabela 10 - Armas adicionais para sustentabilidade e saúde e segurança 73

Tabela 11 - Resultado da aplicação das regras para a segunda fase da elucidação 74

Tabela 12 - Situação atual, soluções da primeira e segunda fase e elucidação final para NSK 76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
CAC	Campos e Armas da Competição
CO_2	Dióxido de carbono
DMAIC	*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*
DOE	*Design of Experiments*
EFQM	*European Foundation for Quality Management*
FY	*Fiscal Year*
GC	Grau de competitividade
I4.0	Indústria 4.0
IA	Intensidade da arma
IATF	*International Automotive Task Force*
IMA	Intensidade média das armas
IoT	*Internet of Things*
ISM	*Interpretive Structural Modelling*
JIPM	*Japan Institute of Plant Maintenance*
KPI	*Key Performance Indicator*
MCDM	*Multiple-Criteria Decision-Making*
MICMAC	Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement
NSK	Nippon Seiko Kabushiki Kaisha
OEE	*Overall Equipment Effectiveness*
OTD	*On-Time Delivery*
RBV	*Resource-Based View*
RBWM	*Robust Best-Worst Method*
SEM	*Structural Equation Modelling*
SMED	*Single-Minute Exchange of Die*
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SWARA	*Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis*
TOC	*Theory of Constraints*
TPM	*Total Productive Maintenance*
TPS	*Toyota Production System*
TQM	*Total Quality Management*
WASPAS	*Weighted Aggregated Sum Product Assessment*
WCM	*World Class Manufacturing*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA 12
1.2 OBJETIVO GERAL, OBJETIVOS ESPECÍFICOS E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO . 13
1.3 JUSTIFICATIVAS PARA O ESTUDO 14
1.4 MÉTODO DE PESQUISA..... 16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO 16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 17
2.1 EXCELÊNCIA OPERACIONAL NA MANUFATURA 17
2.2 SUSTENTABILIDADE NA MANUFATURA 21
2.3 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO SEGUNDO SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON24
2.4 OEE – *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS*..... 25
2.5 TPM – *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* 27
2.6 WCM – *WORLD CLASS MANUFACTURING*..... 27
2.7 CAC – O MODELO DE CAMPOS E ARMAS DA COMPETIÇÃO..... 28
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO..... 43
3.1 PROPOSIÇÃO DO MODELO 45
3.2 DELINEAMENTO DO TRABALHO DE CAMPO 46
3.3 ANÁLISE DO TRABALHO DE CAMPO 48
4 MODELO PARA ALCANCE DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL..... 51
4.1 O MODELO PROPOSTO..... 51
4.2 DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO..... 52
4.3 VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO 54
4.4 INDICADORES E METAS PROPOSTOS PARA OS PILARES 56
4.5 ELUCIDAÇÃO PARA O PROBLEMA DE PESQUISA E IMPLANTAÇÃO DO MODELO 59
5 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA E IMPLANTAÇÃO DO MODELO. 62
5.1 ESCOLHA DA EMPRESA E PROCESSO PRODUTIVO..... 62
5.2 COLETA DE DADOS POR PILAR..... 62
5.3 ANÁLISE DO PROBLEMA 63

5.4 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA PARA A ABORDAGEM DOS PILARES (PRIMEIRA FASE) 67
5.5 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA INCLUINDO OS ELEMENTOS DA BASE DO MODELO (SEGUNDA FASE) 72
5.6 IMPLANTAÇÃO DO MODELO 77
6 CONCLUSÕES 80
REFERÊNCIAS 84
APÊNDICE A – LISTA DE 85 ARMAS VERSÃO 1 - MODELO CAC 89
DADOS CURRICULARES 91

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA

Alcançar a excelência operacional em linhas de manufatura representa um desafio significativo, especialmente por envolver processos produtivos de diferentes segmentos que exigem alto desempenho, mantendo os níveis de qualidade, preço competitivo e por fim atendendo à expectativa do cliente. Além disso, o cenário da manufatura atualmente revela que as empresas são pressionadas a buscar elevada capacidade de flexibilidade devido ao *mix* de produção, enfrentando dificuldades adicionais nas trocas de produto, que requerem inúmeras interferências no processo para atender ao que o mercado necessita. Essa combinação de requisitos, que envolve produtividade, variabilidade e necessidade de ajustes frequentes, torna a busca pela excelência operacional ainda mais complexa e estratégica (Gauss *et al*., 2026).

Um dos problemas observados é como acontece a busca da excelência operacional nas linhas de manufatura? e quais fatores são considerados como de maior relevância nas linhas de produção em geral? possibilitando realizar uma abordagem que possa alavancar o processo produtivo baseado em um modelo proposto que possa ser usado no diagnóstico do estado real e proporcionar os pontos focais para melhoria (Gauss *et al*., 2026).

Há uma oportunidade de apresentar que o *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*) não é o único indicador para medir a excelência de linhas de manufatura, mesmo considerando a referência amplamente difundida de 85% de Nakajima (1988), membro do JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*), em sua obra *Introduction to TPM* (*Total Productive Maintenance)*, na qual são apresentadas as metas de disponibilidade de 90%, eficiência de 95% e qualidade de 99% (Nakajima, 1988). Essa interpretação, posteriormente reforçada pelas práticas de reconhecimento de excelência operacional do JIPM às plantas premiadas por desempenho no TPM, consolidou-se como referência global do *WCM (World Class Manufacturing)* e o OEE passou a ser amplamente utilizado pelas indústrias como indicador chave para medir a eficiência no chão de fábrica (SCHONBERGER, 1996). Mesmo que a aplicabilidade do OEE tenha sido evidenciada, outros elementos devem ser considerados nos conceitos de administração da produção, especialmente quando se busca atingir níveis superiores de desempenho, com menor custo operacional e menor

dependência da interação humana, garantindo estabilidade e previsibilidade ao processo produtivo (Slack *et al*., 2002).

Sendo assim, as questões centrais de pesquisa consideradas neste estudo são:

- Como conduzir os esforços de uma empresa industrial na busca da excelência operacional na manufatura?

1.2 OBJETIVO GERAL, OBJETIVOS ESPECÍFICOS E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Visando responder às questões de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho é propor um modelo para alcance de excelência operacional em linhas de manufatura e mostrar como implementá-lo.

Os objetivos específicos referentes à pesquisa são:

- Desenvolver um modelo composto por elementos que são a base e os pilares para o alcance da excelência operacional rumo à manufatura sustentável;
- Mostrar como implantar esse modelo de forma a obter resultados para seus elementos que conduzam à excelência operacional (definição da intensidade das armas);
- Ilustrar a viabilidade de sua aplicação em uma empresa específica.

Para consecução desses objetivos específicos serão utilizados conceitos do modelo de Campos e Armas da Competição - CAC de Contador (2008), validado no meio acadêmico e empresarial e consolidado como referencial para formulação de estratégias competitivas. Esse modelo fornece uma base estruturada para avaliar a competitividade e direcionar melhorias alinhadas às necessidades do mercado e da operação. Sua aplicação nesta pesquisa permite identificar quais recursos e práticas operacionais sustentam o desempenho desejado e devem ser fortalecidos para avançar em direção à excelência operacional (Contador *et al*., 2023; Contador, 2008).

Alguns aspectos diferenciam o modelo apresentado como resposta ao objetivo específico da pesquisa daqueles apresentados na literatura. Um deles é a explicitação dos três fatores que compõem o *OEE* que são disponibilidade, eficiência e qualidade, entre os pilares para excelência operacional agregado a outros fatores contribuintes para preencher as lacunas existentes destacadas em outros modelos teóricos como TPM e WCM. Outros aspectos diferenciadores são a consideração da sustentabilidade em relação ao resultado do processo operacional, a dependência

do fator humano para interações com equipamento e o cenário de atendimento ao cliente dos conceitos de administração da produção (Nakajima, 1988; Slack *et al*., 2002).

Por fim, pode-se acrescentar que o método do modelo no presente estudo é examinado como uma ferramenta que pode ser utilizada para apoiar a integração entre diagnóstico operacional e priorização dos objetivos estratégicos, utilizando os conceitos do modelo CAC na situação de uma linha de produção industrial. O trabalho apresentado utiliza os termos a seguir como base para discorrer o tema:

- Modelo proposto: Modelo desenvolvido no presente estudo;
- Modelos teóricos: Modelos já existentes no mercado e amplamente discutidos na literatura sobre gestão de operações: WCM, TPM e OEE;
- Modelo CAC: Modelo para avaliação de armas gerenciais e direcionamento de ações administrativas.

1.3 JUSTIFICATIVAS PARA O ESTUDO

A busca pela excelência operacional permanece como um dos principais desafios das organizações industriais, especialmente em ambientes produtivos que convivem com alta variabilidade, necessidade de flexibilidade e pressão constante por redução de custos e aumento da eficiência. O desempenho superior depende da capacidade de estabilizar processos, reduzir perdas e assegurar níveis elevados de disponibilidade, eficiência e qualidade, fatores estruturantes dentro da lógica do OEE. Entretanto, embora o OEE seja um indicador consolidado, sua aplicação isolada não é suficiente para explicar completamente o desempenho de uma linha de manufatura, pois não considera o cliente, exigindo uma abordagem mais abrangente para orientar melhorias consistentes e sustentáveis (Haddad *et al*., 2021).

Modelos teóricos de gestão como o TPM oferecem fundamentos sólidos para a eliminação de perdas, padronização de atividades e construção de um ambiente produtivo mais estável e confiável. Entretanto, sua efetividade depende de práticas de gestão focadas em manutenção e na busca de um diagnóstico preciso sobre os fatores que influenciam o desempenho operacional de equipamentos. Quanto ao WCM, consolida e amplia esses princípios, estruturando-os de forma integrada em um sistema de gestão orientado à excelência operacional. O WCM propõe uma abordagem holística baseada na eliminação de perdas, sustentada por pilares técnicos e gerenciais

que abrangem a manutenção, qualidade, logística, segurança, custos, e desenvolvimento de pessoas, o objetivo central do WCM é atingir resultados sustentáveis por meio do alinhamento entre processos, tecnologias e comportamento organizacional, promovendo uma cultura de melhoria contínua em todos os níveis da organização, o que é considerado de complexa aplicação que dificulta a sua disseminação e utilização pelas empresas (JIPM, 2002; Schonberger, 1996).

Da mesma forma, os princípios gerais de administração da produção apresentados por Slack *et al*. (2002), destacam a necessidade de alinhar a gestão de capacidade, recursos e confiabilidade, para reforçar a competitividade da manufatura, porém a natureza de tal recomendação é gerencial, não considerando fatores técnicos e operacionais de linhas de produção (Slack *et al*., 2002).

Nesse contexto, como nenhum dentre os modelos citados aborda forma de conclusão das ações de melhoria requeridas, o modelo Campos e Armas da Competição contribui de forma significativa ao propor que a condução do diagnóstico operacional seja orientada por critérios estratégicos. O modelo CAC diferencia elementos essenciais ao cliente das capacidades internas que sustentam esses requisitos, oferecendo uma estrutura clara para identificar lacunas de desempenho e priorizar ações que aumentem a competitividade (Contador, 2009).

A relevância deste estudo reside na necessidade de integrar, de forma prática, metodologias já consagradas como OEE, TPM, WCM e conceitos da administração da produção, superando a dificuldade de relacionar o diagnóstico do desempenho às causas das perdas e à priorização de ações. O modelo proposto busca simplificar diagnóstico, análise e decisão por meio dos conceitos e da lógica do modelo CAC, permitindo transformar dados em ações direcionadas à melhoria da eficiência de processos e competitividade do negócio, fortalecendo a busca pela excelência operacional (Garcia *et al*., 2025).

A empresa de rolamentos selecionada para aplicação do modelo proposto é a NSK Ltda., fundada no Japão em 1916, que ao longo de mais de um século, consolidou-se como uma das principais referências globais no desenvolvimento de componentes de precisão para aplicações industriais e automotivas. A trajetória da NSK é marcada pela constante busca de um elevado desempenho em práticas de manufatura avançada e excelência operacional (NSK, 2026).

No contexto da manufatura, a NSK se destaca pela aplicação sistemática de ferramentas de melhoria contínua, utilização do OEE, integração entre pessoas e processos enquanto, elementos essenciais para a estabilidade e competitividade operacional. Sua atuação evidencia os princípios do WCM e da gestão orientada à eliminação de perdas. Esses fatores tornam a empresa um

ambiente propício para análises e implementação de novos modelos teóricos, especialmente aqueles voltados à excelência operacional. Dessa forma, a NSK Brasil Ltda. (unidade situada na cidade de Suzano-SP) foi selecionada como objeto de estudo e aplicação do modelo proposto (NSK, 2026).

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa adota uma abordagem quali-quantitativa, fundamentada nos métodos mistos de Creswell (2014), combinando a construção de um modelo conceitual de excelência operacional a partir da fundamentação teórica e análise bibliométrica com sua aplicação em um trabalho de campo na indústria de manufatura. A coleta de dados envolveu indicadores operacionais e o julgamento de especialistas sobre os pilares do modelo e as armas da competição do CAC, posteriormente convertidos em variáveis numéricas para análise de relevância, intensidade, foco e dispersão. Por fim, os resultados qualitativos e quantitativos foram integrados para avaliar a aplicabilidade do modelo e orientar a priorização de ações direcionadas à excelência operacional (Creswell, 2014).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desta dissertação apresenta na primeira seção a contextualização do problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas. A segunda seção apresenta a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados à excelência operacional, manufatura sustentável, administração da produção, OEE, TPM, WCM e ao modelo de Campos e Armas da Competição (CAC). A terceira seção descreve o procedimento metodológico utilizado na pesquisa, detalhando a construção do modelo proposto, a coleta de dados e os métodos de análise empregados. A quarta seção apresenta o modelo desenvolvido para o alcance da excelência operacional e a quinta seção registra a aplicação prática do modelo em uma linha de manufatura, apresentando os resultados obtidos e as discussões decorrentes. Por fim, a sexta seção apresenta as conclusões da pesquisa, suas contribuições, limitações e oportunidades para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EXCELÊNCIA OPERACIONAL NA MANUFATURA

Foi realizada uma análise bibliométrica fornecida no Quadro 1 dos principais estudos sobre excelência operacional na manufatura, permitindo identificar os temas mais relevantes, suas aplicações práticas e limitações. Os resultados evidenciaram que a excelência operacional é sustentada pela integração entre processos, pessoas, tecnologia, qualidade, produtividade e melhoria contínua, fornecendo a base conceitual para a construção do modelo proposto.

Quadro 1 – Pesquisa bibliométrica para aplicações sobre Excelência operacional

Autor e ano	Abordagem	Aplicações e limitações
Gauss *et al*. (2026)	*Design Science* aplicado à manufatura.	Integração de Lean e TOC. Limitação: caso único.
Bhasin (2025)	Estudos de caso e *Balanced Scorecard* sobre maturidade operacional.	Maturidade e sustentação da excelência operacional. Limitação: amostra limitada e dados autorrelatados.
Hamoumi *et al*. (2025)	*Survey* quantitativo sobre fatores técnicos e humanos.	Integração entre pessoas e processos. Limitação: setor automotivo marroquino.
Affaki *et al*. (2025)	Regressão múltipla sobre *Lean*, IATF e I4.0.	Integração de qualidade, gestão e tecnologia. Limitação: amostra restrita ao setor automotivo.
Zhang *et al*. (2025)	*Estudo de caso Lean Six Sigma* para excelência operacional.	Melhoria da qualidade e redução de defeitos. Limitação: aplicação em uma única linha produtiva.
Son *et al*. (2024)	Estudo conceitual sobre IA e aprendizado organizacional.	Capacitação organizacional e transformação digital. Limitação: estudo de caso único.
Singh e Khan (2024)	Estudo longitudinal sobre TQM para excelência operacional.	Qualidade e liderança organizacional na manufatura Limitação: organização única.
Sony e Antony (2024)	Priorização multicritério (SWARA/WASPAS).	Integração entre excelência operacional e I4.0. Limitação: avaliação baseada em especialistas.
Antony *et al*. (2024)	*Survey* internacional sobre excelência operacional.	Fatores críticos de sucesso e fracasso nas operações Limitação: percepção dos respondentes.
Carvalho *et al*. (2022)	Modelo conceitual baseado no *Shingo Model*.	Integração de sistemas de gestão. Limitação: validação em uma única empresa.
Tortorella *et al*. (2022)	Estudo qualitativo exploratório, foco na melhoria de processo.	Conceituação moderna da excelência operacional. Limitação: abordagem conceitual.
Haddad *et al*. (2021)	Estudo experimental com SMED para melhoria de processo.	Redução de *setup* e aumento do OEE. Limitação: aplicação em uma máquina específica.
Singh (2020)	Estudo de caso sobre TPM, buscando excelência operacional.	Melhoria do OEE por manutenção produtiva. Limitação: única empresa analisada.
Upadhyay *et al*. (2020)	Revisão sistemática sobre *blockchain* na manufatura	Rastreabilidade e integração da cadeia. Limitação: ausência de validação empírica.
Andersson e Bellgran (2015)	Estudo longitudinal sobre OEE e produtividade.	Avaliação de desempenho operacional. Limitação: estudo de caso único.

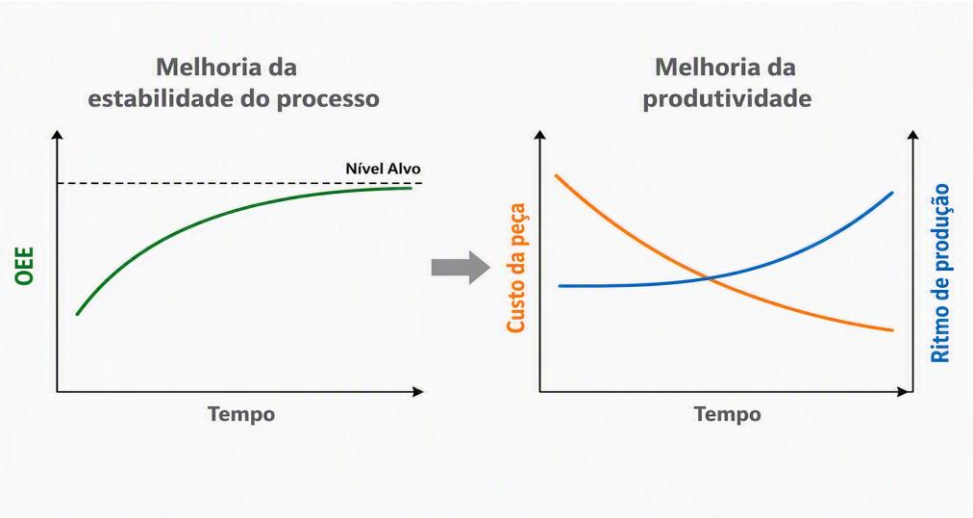
Fonte: Elaboração própria com artigos extraídos do Scopus (2026).

Excelência operacional é a capacidade de uma organização atingir níveis superiores de desempenho por meio da integração eficiente de processos, pessoas e tecnologia, orientada à geração de valor ao cliente e à manutenção da competitividade, envolvendo melhoria contínua, inovação e alinhamento estratégico (Antony *et al*., 2024).

Nas linhas de manufatura a aplicação da excelência operacional visa melhoria da disponibilidade, eficiência e qualidade, com a busca do menor custo possível o que eleva os níveis de competitividade dentro dos processos produtivos, conforme Figura 1 (Haddad *et al*., 2021).

Em síntese, a excelência operacional visa produzir mais valor com menor desperdício, integrando desempenho dos processos e eficiência econômica. Um alto nível de eficiência dos equipamentos reduz perdas, falhas e retrabalhos, o que impacta diretamente na diminuição do custo total. Dessa forma, produtividade e custo deixam de ser objetivos conflitantes e passam a atuar de forma complementar, promovendo maior competitividade e sustentabilidade dos resultados. (Sony; Antony, 2024).

Figura 1 – Elevação da estabilidade do OEE e melhorias em produtividade e custo



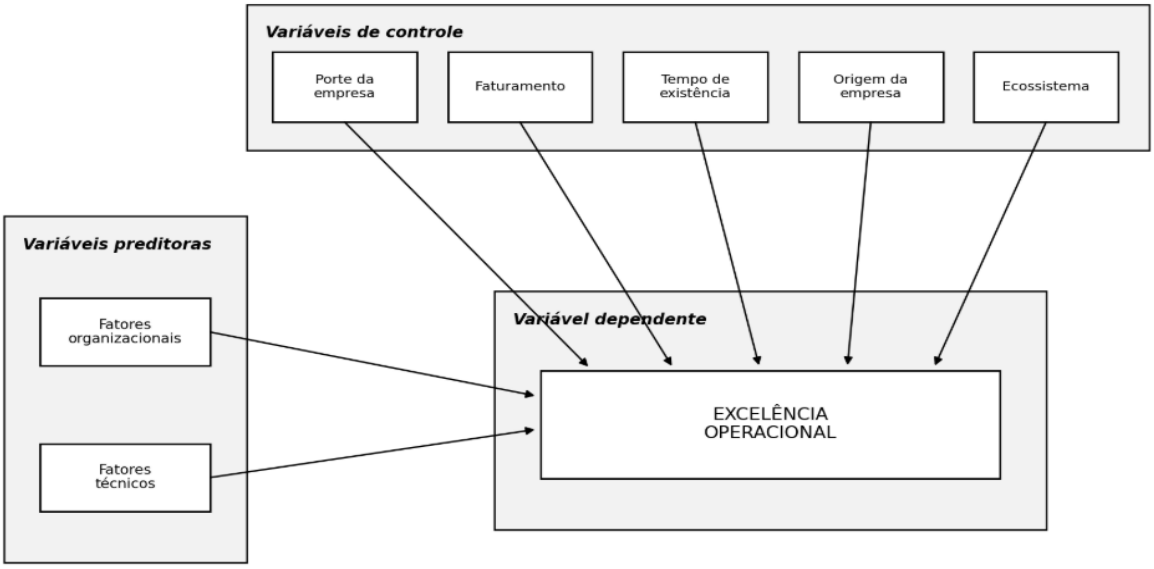
Fonte: Adaptado de Andersson *et al*, (2015).

Entretanto, a excelência operacional não deve ser compreendida apenas como a obtenção de indicadores elevados em determinado período. Trata-se da capacidade de manter resultados superiores de forma repetitiva, previsível e coerente com os objetivos estratégicos da organização. Essa perspectiva exige que a melhoria não permaneça restrita a projetos isolados, mas seja incorporada ao sistema de gestão, aos padrões de trabalho, aos mecanismos de solução de problemas e ao processo de tomada de decisão. A integração entre requisitos de sistemas de gestão e os princípios de projetos de melhoria contínua demonstra que a maturidade operacional depende

tanto da adoção de práticas quanto da consolidação de comportamentos que sustentem essas práticas no cotidiano (Carvalho *et al*., 2022).

Uma abordagem abrangente requer o equilíbrio entre elementos técnicos e humanos organizacionais conforme Figura 2. Os elementos técnicos incluem métodos de melhoria contínua, padronização, gestão da qualidade, manutenção, automação, análise de dados e controle do processo. Os elementos humanos abrangem liderança, cultura, participação dos trabalhadores, aprendizagem e desenvolvimento de competências, além do contexto predominante da empresa avaliada (Hamoumi *et al*., 2025).

Figura 2 – Relação entre as variáveis de controle e a excelência operacional



Fonte: Adaptado de Hamoumi *et al*, (2025).

A implantação da excelência operacional também ocorre de forma evolutiva. Organizações podem dominar práticas básicas, mas enfrentar dificuldades para ampliar, integrar e sustentar níveis mais avançados de maturidade. Entre os desafios encontram-se a continuidade das iniciativas, a disseminação das práticas entre áreas, a capacidade de transformar melhorias locais em resultados sistêmicos e a manutenção do comprometimento ao longo do tempo. Por essa razão, a maturidade não deve ser avaliada somente pela quantidade de ferramentas adotadas, mas pela coerência entre estratégia, processos, competências e resultados (Bhasin, 2025).

No setor automotivo, a busca por excelência é reforçada pela necessidade de controlar a cadeia de valor, atender a requisitos rigorosos de qualidade e responder rapidamente às mudanças tecnológicas e de mercado. Essa complementaridade mostra que a digitalização deve ser orientada por problemas operacionais concretos: Sensores, sistemas conectados, inteligência artificial e

análise de dados que podem aumentar a visibilidade das perdas, acelerar a identificação de desvios e apoiar decisões mais rápidas. Entretanto, tecnologias implantadas sem processos estáveis, dados confiáveis, objetivos definidos e pessoas capacitadas podem apenas automatizar ineficiências existentes. A excelência operacional exige, portanto, que a tecnologia seja tratada como um meio para fortalecer as capacidades da operação, e não como um resultado em si mesma. Essa integração contribui para que decisões sobre manutenção, qualidade, ritmo produtivo e utilização de recursos sejam baseadas em informações mais consistentes (Affaki *et al*., 2025; Son *et al*., 2024).

Além dos limites internos da fábrica, a excelência operacional depende da integração das informações e da confiabilidade das relações ao longo da cadeia de suprimentos. Tecnologias como *blockchain* podem apoiar transparência, rastreabilidade e compartilhamento de informações, mas sua adoção envolve desafios tecnológicos, organizacionais e ambientais. No setor automotivo, a análise dessas oportunidades e barreiras demonstra que a geração de valor depende da compatibilidade da tecnologia com os processos existentes, da capacidade organizacional de implementação e da articulação entre os participantes da cadeia. Assim, a excelência operacional não pode ser limitada ao desempenho de uma máquina ou de uma linha, pois também é afetada pela qualidade e pela continuidade dos fluxos de materiais e informações (Upadhyay *et al*., 2020).

Portanto, alcançar a excelência operacional na manufatura significa construir um sistema capaz de diagnosticar perdas, definir prioridades e sustentar resultados alinhados às necessidades do cliente. Entretanto, os estudos que fundamentam essa perspectiva apresentam limitações relevantes quanto à abrangência de seus achados. Por exemplo, Carvalho *et al*. (2022) validam seu modelo conceitual sem direcionar a empresa para aplicações de ações efetivas. Hamoumi *et al*. (2025) circunscrevem sua análise ao setor automotivo com ausência de *link* entre modelo e execução, enquanto Affaki *et al*. (2025) baseiam-se em amostra restrita ao mesmo setor, limitando a extrapolação dos resultados da aplicação de modelo e direcionamento de priorização de ações. Com isso, os estudos não avançam de forma estruturada sobre como transformar o diagnóstico de desempenho em ações, priorizadas e direcionadas para a linha de manufatura, permanecendo a discussão predominantemente conceitual quanto à integração entre diagnostico e direcionamento. Contudo, a literatura consultada carece de um mecanismo explícito capaz de traduzir esse diagnóstico em ações concretas, lacuna que justifica a incorporação de um modelo de priorização de ações para excelência operacional (Carvalho *et al*., 2022; Hamoumi *et al*., 2025; Affaki *et al*., 2025).

2.2 SUSTENTABILIDADE NA MANUFATURA

Foi realizada uma análise bibliométrica dos principais estudos relacionados à sustentabilidade na manufatura conforme o Quadro 2, abordando temas como tripé da sustentabilidade, economia circular, cadeias de suprimentos sustentáveis e desempenho sustentável. Os trabalhos analisados apresentam interdependência entre os pilares econômico, ambiental e social, reforçando a importância da sustentabilidade como elemento para a manufatura.

Quadro 2 – Pesquisa bibliométrica para aplicações sobre Sustentabilidade na manufatura

Autor e ano	**Abordagem**	**Aplicações e limitações**
Martusewicz *et al*. (2025)	Estudo de caso com EFQM para *Net zero*	Transformação sustentável e Net Zero. Limitação: planta automotiva única.
Shrivastava; Mishra (2025)	*Survey* e SEM *com Lean Six Sigma* e I4.0	Economia circular e redução de desperdícios para tripé de sustentabilidade. Limitação: amostra automotiva restrita.
Sahu *et al*. (2022)	MCDM para seleção de fornecedores sustentável	Fornecedores Lean, resilientes e verdes. Limitação: validação em uma empresa.
Dacrea *et al*. (2025)	Revisão sistemática sobre *Supply Chain* 5.0. na sustentabilidade	Sustentabilidade, resiliência e centralidade humana com tripé da sustentabilidade Limitação: abordagem conceitual.
Singh; Kumar; Sharma (2025)	*Framework* para *Lean Six Sigma* sustentável.	Habilitadores para sustentabilidade. Limitação: requer validação empírica.
Harikannan; Vinodh; Antony (2023)	Modelagem estrutural entre Industria e sustentabilidade.	Práticas sustentáveis e desempenho. Limitação: setor automotivo indiano.
Thürer; Stevenson; Silva (2020)	Estudo de caso com IoT e cadeia sustentável.	Integração entre tecnologia e sustentabilidade. Limitação: caso único.

Fonte: Elaboração própria com artigos extraídos do Scopus (2026).

A sustentabilidade na manufatura pode ser compreendida como a capacidade de organizar os sistemas produtivos de modo que o atendimento às necessidades atuais não comprometa os recursos, as condições humanas e a viabilidade econômica futura. Nesta pesquisa, adota-se a abrangência do tripé da sustentabilidade, formado pelas dimensões ambiental, social e econômica. Essa perspectiva é adequada ao ambiente industrial porque as decisões relacionadas a equipamentos, materiais, energia, pessoas, qualidade e produtividade geram efeitos simultâneos nas três dimensões. Assim, a manufatura sustentável não se restringe à proteção ambiental, mas

exige equilíbrio entre redução de impactos, valorização das pessoas e continuidade competitiva da organização (Harikannan *et al*., 2023; Martusewicz *et al*., 2025).

A sustentabilidade ambiental corresponde à prevenção e à redução dos impactos da atividade produtiva sobre o meio ambiente. Na manufatura, essa dimensão envolve o uso eficiente de energia, água e matérias-primas, a redução de emissões, refugos e resíduos, além da reutilização, reciclagem e circularidade dos recursos. Martusewicz *et al*. (2025) demonstram, em uma planta automotiva europeia, que a aplicação do modelo EFQM (European Foundation for Quality Management) pode integrar transformação organizacional e objetivos ambientais, apresentando resultados de redução das emissões de CO2 e do consumo de água, bem como aumento das taxas de reciclagem. O estudo reforça que a trajetória em direção ao *net zero* depende da combinação entre eficiência, inovação, envolvimento das partes interessadas e gestão estruturada (Martusewicz *et al*., 2025).

A sustentabilidade social refere-se aos impactos do sistema produtivo sobre os trabalhadores e demais partes interessadas. No contexto da manufatura, abrange saúde e segurança, condições adequadas de trabalho, desenvolvimento de competências, participação, respeito às pessoas e qualidade de vida. A transformação industrial deve, portanto, considerar a centralidade humana, ampliando a capacidade das pessoas para operar, manter e aperfeiçoar processos, ao mesmo tempo que reduz exposições e riscos ocupacionais (Martusewicz *et al*., 2025).

A sustentabilidade econômica representa a capacidade de manter a operação produtiva competitiva e financeiramente viável ao longo do tempo. Essa dimensão compreende produtividade, qualidade, disponibilidade, eficiência, redução de custos e desperdícios, flexibilidade, confiabilidade das entregas, gestão de riscos e preservação da capacidade de investimento. Não se trata apenas de maximizar resultados financeiros de curto prazo, mas de gerar valor continuamente mediante o uso racional dos recursos e a manutenção da capacidade de adaptação e inovação (Harikannan *et al*., 2023).

As três dimensões do tripé são interdependentes conforme Figura 3. Uma iniciativa ambiental que inviabilize economicamente a operação tende a não permanecer, uma redução de custos baseada na deterioração das condições de trabalho compromete a dimensão social e uma transformação tecnológica que não gere eficiência, menor impacto ambiental ou melhores condições para as pessoas representa digitalização sem sustentabilidade. Por essa razão, a manufatura sustentável requer critérios capazes de evitar a otimização isolada de uma dimensão e

de promover equilíbrio entre redução de impactos ambientais, proteção e desenvolvimento das pessoas e geração contínua de valor econômico (Harikannan *et al*., 2023; Martusewicz *et al*., 2025).

Figura 3 – Tripé da sustentabilidade na manufatura



Fonte: O autor, adaptado de Dacrea *et al.*, (2025).

A sustentabilidade da manufatura também ultrapassa os limites físicos da fábrica e alcança fornecedores e demais participantes da cadeia de valor. Thürer *et al.* (2020) relacionam tecnologias de engenharia e sistemas empresariais à gestão sustentável da cadeia de suprimentos, indicando a importância da integração das informações entre produção e gestão para apoiar decisões sobre materiais, estoques, qualidade, entregas e recursos. De modo complementar, Sahu *et al.* (2022) integram critérios Lean, ágeis, resilientes e verdes em uma estrutura de apoio à seleção de fornecedores, mostrando que eficiência, flexibilidade, resiliência e desempenho ambiental devem participar conjuntamente das decisões da cadeia automotiva (Thürer *et al*., 2020; Sahu *et al*., 2022).

A literatura recente sugere uma aproximação crescente entre os conceitos de sustentabilidade e excelência operacional. Nessa perspectiva, a eliminação sistemática de perdas, a estabilidade dos processos e o uso eficiente dos recursos são elementos que contribuem simultaneamente para a competitividade organizacional e para a redução de impactos indesejados ao longo do ciclo produtivo. Da mesma forma, atributos relacionados à qualidade, à confiabilidade e à capacidade de resposta tendem a influenciar não apenas os resultados econômicos das organizações, mas também a forma como recursos materiais, energéticos e humanos são utilizados e preservados ao longo do tempo (Harikannan *et al*., 2023; Martusewicz *et al*., 2025; Shrivastava; Mishra, 2025).

Sob essa ótica, a sustentabilidade deixa de ser compreendida exclusivamente como um conjunto de iniciativas ambientais e passa a ser analisada de maneira integrada aos sistemas de gestão e às práticas operacionais. O debate atual enfatiza que a obtenção de resultados superiores depende da combinação entre desempenho técnico, responsabilidade socioambiental e capacidade organizacional para sustentar melhorias de forma contínua. Dessa forma, aspectos tradicionalmente associados à excelência operacional e elementos relacionados à sustentabilidade tendem a compartilhar objetivos comuns, ainda que sejam abordados por diferentes correntes teóricas (Thürer *et al*., 2020; Sahu *et al*., 2022).

Tudo isso indica que os desafios contemporâneos da manufatura exigem modelos capazes de conciliar múltiplas dimensões. Embora diferentes abordagens enfatizem aspectos do problema, observa-se um consenso sobre a necessidade de equilibrar competitividade, utilização dos recursos, desenvolvimento de pessoas e geração sustentável de valor, a sustentabilidade é uma condição estruturante para sustentação da manufatura ao longo do tempo e assim é apresentada na construção de modelos (Harikannan *et al*., 2023; Martusewicz *et al*., 2025; Shrivastava; Mishra, 2025).

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar mecanismos que permitam traduzir tais princípios em ações gerenciais coerentes com os objetivos organizacionais de sustentabilidade. Entretanto, os estudos Martusewicz *et al.* (2025), Harikannan *et al*. (2023) e Shrivastava e Mishra. (2025), apresentam limitações relevantes, pois concentram-se majoritariamente no setor automotivo não direcionando diagnóstico completo, enquanto o Sahu *et al*. (2022) e Thürer *et al*. (2020) não buscam direcionamento de ações e por fim, Dacre *et al*. (2025) e Singh *et al*. (2025), apresentam abordagens ainda conceituais, sem validação empírica. A literatura aponta que a simples adoção de práticas de sustentabilidade isoladas não garante resultados consistentes, sendo necessária a integração de modelos produtivos, definição de prioridades e a alocação direcionada de recursos para iniciativas com maior potencial de contribuição ao desempenho organizacional (Martusewicz *et al*., 2025; Harikannan *et al*., 2023; Shrivastava; Mishra, 2025; Sahu *et al*., 2022; Thürer *et al*., 2020; Dacre *et al*., 2025; Singh; Kumar; Sharma, 2025).

2.3 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO SEGUNDO SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON

A administração da produção, na perspectiva de Slack *et al*. (2002), compreende o gerenciamento sistemático dos recursos e processos que transformam insumos em bens e serviços com o objetivo de sustentar a estratégia competitiva da organização. Nela a função produção é

tratada como arena estratégica, na qual escolhas sobre processos, tecnologia, capacidade e melhorias moldam capacidades de desempenho que, por sua vez, sustentam a vantagem competitiva de longo prazo. Entre essas capacidades, qualidade, flexibilidade, confiabilidade, rapidez e custo compõem um núcleo crítico de desempenho operacional, responsável por alinhar a resposta da operação às exigências dos mercados e às prioridades competitivas da empresa (Slack *et al*., 2002).

Segundo Slack et al. (2002), o desempenho da produção é sustentado por cinco objetivos estratégicos. A qualidade está relacionada à capacidade de atender às especificações e expectativas dos clientes, reduzindo defeitos e retrabalhos. A rapidez refere-se à diminuição dos tempos de produção e entrega, enquanto a confiabilidade representa o cumprimento consistente dos prazos e requisitos acordados. A flexibilidade corresponde à capacidade da operação de adaptar-se às variações de produto, volume ou demanda sem comprometer significativamente o desempenho. Já o custo está associado à utilização eficiente dos recursos, buscando a redução de desperdícios e o aumento da competitividade, porém com relação com fatores de eficiência de processo, podendo relacionar demais fatores que compõem o custo de processo. Em conjunto, esses objetivos orientam as decisões da gestão da produção e contribuem para a vantagem competitiva das organizações (Slack *et al*., 2002).

Em síntese, a abordagem de Slack *et al*. (2002), destaca a qualidade, flexibilidade, confiabilidade, rapidez e custo como objetivos que medem as capacidades dinâmicas de operações, A construção dessas capacidades demanda decisões estruturais e infraestruturais coerentes, bem como um sistema de melhoria contínua que integre pessoas, tecnologia e processos para alcance da excelência nas operações (Slack *et al*., 2002).

2.4 OEE – *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS*

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness)* é um indicador apresentado por Seiichi Nakajima (1988) no contexto do TPM como medida sintética da eficácia global dos equipamentos, visando integrar, em um único índice, as principais perdas que impedem um equipamento de produzir em sua capacidade ideal. O OEE foi concebido no Japão a partir da difusão do TPM pelo JIPM e consolidou-se como referência internacional para direcionar melhorias de produtividade industrial por meio da quantificação de perdas e de localização nas operações (JIPM, 2002).

Figura 4 – OEE - *Overall Equipment Effectiveness*



Fonte: Elaboração própria com conceitos extraídos de Nakajima, (1988).

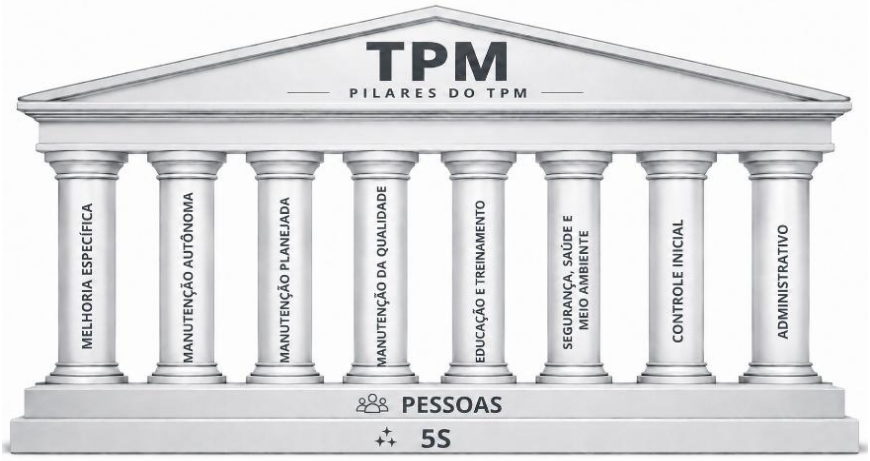
O OEE resulta do produto de três fatores representados na Figura 4, a disponibilidade compara o tempo efetivo de operação com o tempo de produção planejado e identifica paralisações como quebras e ajustes. A eficiência mensura o ritmo produtivo real frente ao ritmo ideal ou tempo de ciclo de projeto e identifica perdas por pequenas paradas e redução de velocidade. A qualidade expressa a proporção de peças boas no total produzido, refletindo as perdas por refugo e retrabalho, tanto na partida quanto na produção estável. A estrutura proposta por Nakajima (1988) vincula diretamente estas seis grandes perdas, às perdas de disponibilidade, de performance e de qualidade, de modo a orientar a priorização de causas raízes a serem investigadas e a seleção de contramedidas a serem implementadas no chão de fábrica para sua eliminação ou redução (Rahman *et al*., 2020).

Para Nakajima, (1988), a utilidade do OEE não reside apenas no valor numérico, mas na sua função de linguagem comum entre produção e manutenção para revelar desperdícios ocultos. Relatos históricos associados ao programa de prêmios do JIPM indicam que instalações que conquistaram o reconhecimento de excelência em TPM chegavam a apresentar resultados de OEE superiores ao marco de 85%, que passou a orientar metas de classe mundial. Ainda assim, recomenda-se focar mais na trajetória de melhoria contínua do indicador e na redução sistemática das perdas, e não na fixação a um único número-alvo, dada a diversidade de contextos, tecnologias e setores industriais (Nakajima, 1988).

2.5 TPM – *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE*

O TPM (*Total Productive Maintenance*) é definido pelo JIPM como um sistema abrangente de gestão que integra equipamentos e pessoas com o propósito de eliminar perdas e reforçar os fundamentos produtivos, buscando zero falhas, defeitos ou ocorrências de acidentes por meio do envolvimento de todas as funções da empresa. Diferentemente de uma abordagem restrita à manutenção, o TPM propõe uma transformação cultural orientada à prevenção e ao engajamento, na qual atividades de diferentes áreas convergem para maximizar a eficácia dos equipamentos e a eficiência do trabalho humano nas operações (Aspinwall; Elgharib, 2013; JIPM, 2002).

Figura 5 – TPM - *Total Productive Maintenance*



Fonte: Elaboração própria com conceitos extraídos de JIPM, (2002).

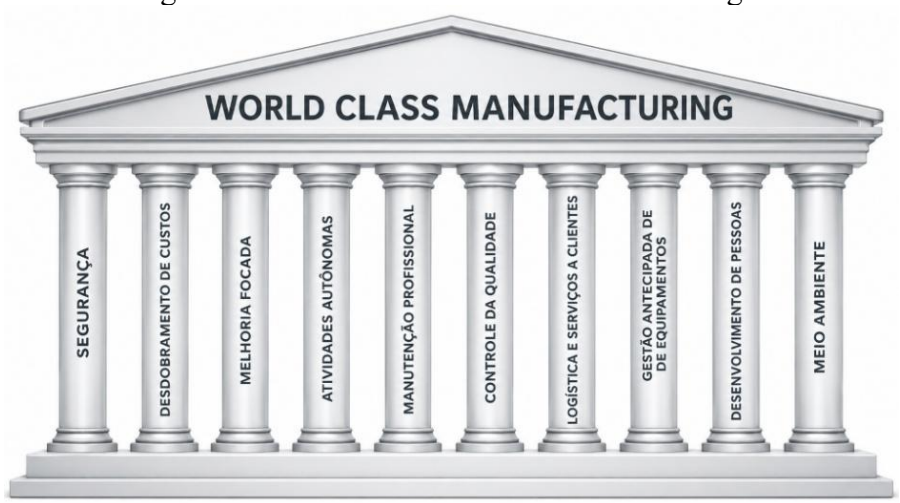
Como ilustra a Figura 5 a estrutura do TPM, difundida pelo JIPM, organiza-se em oito pilares que orientam a melhoria da produção, incluindo manutenção autônoma, manutenção planejada, melhoria específica, manutenção da qualidade, educação e treinamento, controle inicial, administrativo e segurança, saúde e meio ambiente. Esses pilares atuam de forma integrada para reduzir perdas, prevenir falhas, melhorar a qualidade e garantir um ambiente produtivo seguro e sustentável (Aspinwall; Elgharib, 2013; JIPM, 2002; Singh *et a*l., 2020).

2.6 WCM – *WORLD CLASS MANUFACTURING*

O WCM (*World Class Manufacturing*) constitui um sistema integrado de excelência operacional que combina fundamentos de *Lean Manufacturing*, e TPM em uma arquitetura

gerencial que organiza a melhoria contínua por meio de pilares técnicos e gerenciais. O WCM adapta princípios de produtividade de origem japonesa ao contexto de cadeias produtivas globalizadas, provendo estrutura, disciplina e direção para eliminar desperdícios, reduzir custos e elevar qualidade, segurança e flexibilidade a níveis de classe mundial. Este modelo teórico orienta que, a busca por resultados seja operacionalizada por meio de um conjunto coerente de práticas, metas e auditorias de maturidade aplicáveis a diferentes setores industriais (Schonberger, 1996; JIPM, 2002; Ramasu; Kanakana, 2025).

Figura 6 – WCM – World Class Manufacturing



Fonte: Elaboração própria com conceitos extraídos de JIPM, (2002).

A arquitetura do WCM é comumente apresentada como um conjunto orientado de dez pilares como ilustra a Figura 6, cada qual com etapas evolutivas que transitam de práticas reativas para abordagens proativas e preventivas. Esses pilares são definidos como segurança, desdobramento de custos, melhoria focada, atividades autônomas, manutenção profissional, controle da qualidade, logística e serviços a clientes, gestão antecipada de equipamentos, desenvolvimento de pessoas e meio ambiente, todos diretamente relacionados ao desempenho do processo produtivo. Essa sistematização, foi adotada por grandes corporações e sustentada por um processo de auditorias estruturadas que classificam as unidades de produção em níveis como bronze, prata e ouro, promovendo aprendizado organizacional (Tortorella *et al*., 2020).

2.7 CAC – O MODELO DE CAMPOS E ARMAS DA COMPETIÇÃO

Conceitos preliminares sobre o modelo CAC:

Considerando a proposta deste estudo de utilizar o modelo CAC no tratamento do problema de pesquisa, torna-se necessária uma revisão mais aprofundada sobre essa teoria. Nas definições e conceitos apresentados, será mantida a redação original do autor, com o objetivo de preservar sua exatidão.

O modelo CAC insere-se no campo da teoria da competitividade e propõe um tratamento simultaneamente conceitual e operacional para a formulação da estratégia competitiva. A relevância deste modelo decorre do fato de integrar o posicionamento competitivo da empresa no mercado com a seleção deliberada de recursos, técnicas e práticas internas que efetivamente sustentam tal posicionamento (Contador, 2008; Contador, 2009).

Tem sua origem no ambiente empresarial e nasceu de uma ideia simples: separar as chamadas vantagens competitivas segundo o interesse do cliente, distinguindo as que lhe interessam das que não lhe interessam. As primeiras relacionam-se aos campos da competição (como preço, projeto do produto e qualidade do produto), e as segundas, às armas da competição (como produtividade, equipe de projeto criativa e motivada e qualidade de processo). É por meio do fortalecimento das armas relevantes para competir em um campo que a empresa pode se tornar líder, colocando-a em posição superior aos seus concorrentes (Contador, 2008).

Nas décadas de 1990 e 2000, Contador (2009) desenvolveu o modelo de Campos e Armas da competição CAC, que alia duas concepções bastante distintas e que têm sido, de um modo geral, tratadas isoladamente na literatura especializada: a concepção de que a competitividade da empresa provém predominantemente da forma como ela constrói uma vantagem competitiva no mercado, de acordo com Porter, (1989), isso é representado pelos campos da competição; e pela concepção de que ela provém basicamente a partir de seus fatores internos, conforme o pensamento da Visão Baseada em Recursos RBV, os quais são representados pelas armas da competição (Porter, 1989).

O modelo CAC é constituído por variáveis qualitativas e quantitativas, possui um pensamento central muito forte que orienta a formulação das estratégias competitivas e gera estratégias competitivas operacionais alinhadas à estratégia competitiva de negócio (Contador, 2012). Sua tese, validada por meio de pesquisas empíricas:

> Para a empresa ser competitiva, não há condição mais relevante do que ter alto desempenho apenas naquelas poucas armas que lhe dão vantagem competitiva nos campos da competição escolhidos para produto-mercado (Contador, 2009).

A concepção do modelo CAC sobre estratégia e competitividade e vantagem competitiva:

A concepção do modelo CAC distingue claramente dois níveis complementares de estratégia. A estratégia de negócio, que envolve a escolha dos campos da competição e dos campos coadjuvantes para cada par produto/mercado, e a estratégia competitiva operacional, que abrange a definição das armas da competição e a determinação de sua intensidade (alinhamento das armas aos campos da estratégia de negócio). A implementação da estratégia se dá por meio das ações necessárias para o seu fortalecimento (Contador, 2009).

No que se refere ao conceito de competitividade, o modelo CAC a define como a capacidade de obter resultados superiores de forma sustentável, combinando crescimento de mercado e rentabilidade. Essa abordagem evita reduções simplistas, como eficiência interna isolada ou ganhos de curto prazo, e fundamenta análises empíricas por meio do grau de competitividade, refletido pelo crescimento da receita ao longo prazo (Contador, 2008; Contador, 2009).

Contador (2008) define vantagem competitiva como a posição de superioridade reconhecida e valorizada pelo cliente que leva uma empresa a ser mais competitiva que uma concorrente ou a si mesma em momento anterior. A vantagem competitiva está relacionada aos campos da competição, só há vantagem competitiva nos campos da competição.

Campos da Competição:

Os campos da competição constituem o núcleo visível da disputa competitiva e correspondem aos atributos do produto ou da empresa que são valorizados pelo cliente, sendo definido da forma seguinte pelo autor:

Campo da competição é o lócus imaginário central da disputa entre empresas pela preferência do cliente ao produto e/ou à empresa. É apenas uma intenção que deve tornar realidade por meio das armas da competição (Contador, 2009).

Trata-se de uma definição sintética, porém poderosa, porque mostra que o campo não é apenas uma categoria descritiva, ele expressa a dimensão em que a empresa pretende ser superior aos concorrentes (Contador, 2009).

O modelo CAC distingue os campos principais, em que a empresa pretende competir diretamente, dos campos coadjuvantes, que complementam a proposta competitiva. O modelo informa que as empresas normalmente escolhem um ou dois campos principais e mais um ou dois campos secundários. Assim, a diferenciação competitiva não se dá por um atributo isolado, mas por uma combinação coerente de atributos principais e complementares (Contador, 2008).

Configuração dos campos da competição:

Contador (2008) identificou 14 campos da competição e coadjuvantes, agregados em cinco macro campos, que representam as maneiras básicas de a empresa se diferenciar por meio das características de seu produto e/ou da própria empresa, conforme o Quadro 3, cujo a abrangência de cada macro campo é mostrada no Quadro 4.

> *Competir num campo* significa ser, ou almejar ser, melhor que as concorrentes nesse campo da competição. (Contador, 2009).

Campo coadjuvante é definido como o *lócus* imaginário secundário e complementar da disputa entre empresas pela preferência do cliente ao produto e/ou à empresa.

Quadro 3 – Os 14 campos da competição

Competição em preço Preço propriamente dito Condições de pagamento Prêmio e/ou promoção	**Competição em prazo** Prazo de entrega do produto Prazo de atendimento
Competição em produto (bem ou serviço) Projeto do produto Qualidade do produto Diversidade de produtos	**Competição em imagem** Do produto e da marca De empresa confiável Em responsabilidade social (nos aspectos preservacionista e cívico)
Competição em atendimento Acesso ao atendimento Projeto do atendimento Qualidade do atendimento	

Fonte: Contador (2008, p.57).

Quadro 4 – O significado de cada um dos 14 campos da competição

Macrocampo Preço	
Preço	Ter, ou almejar ter, preço menor do que o produto dos concorrentes.
Condições de pagamento	Oferecer, ou almejar oferecer, mais facilidades de pagamento que os concorrentes, em termos de desconto, prazo, quantidade de parcelas de pagamento e instrumento de crédito.
Prêmio e/ou promoção	Oferecer, ou almejar oferecer, temporariamente ao comprador, vantagens mais interessantes que as dos concorrentes, como sorteios e ofertas, sem alterar o preço normal de venda.
Macrocampo Produto (bem ou serviço)	
Projeto do produto	Desenvolver, ou almejar desenvolver, produto com características e atributos valorizados pelos clientes que atendam às suas exigências, necessidades, preferências, expectativas ou anseios de forma mais atraente que as características dos produtos concorrentes em termos de aparência visual, funções a cumprir, facilidade de uso, qualidade dos materiais e do acabamento e outros.
Qualidade do produto	Oferecer, ou almejar oferecer, produto que o cliente julgue de melhor qualidade do que a dos produtos concorrentes nos mais diversos critérios por ele valorizados, como aparência visual, funções a cumprir, desempenho, facilidade de uso, qualidade dos materiais e do acabamento, durabilidade e outros.
Diversidade de produtos	Oferecer, ou almejar oferecer, maior variedade de produtos do que os concorrentes.

Fonte: Contador, (2008).

Quadro 4 – O significado de cada um dos 14 campos da competição (Continuação)

Macrocampo Atendimento	
Acesso ao atendimento	Proporcionar, ou almejar proporcionar, melhor acesso ao atendimento do que o dos concorrentes, sob o ponto de vista do cliente.
Projeto do atendimento	Desenvolver, ou almejar desenvolver, atendimento com características valorizadas pelos clientes que atendam às suas exigências, necessidades, preferências, expectativas ou anseios de forma mais atraente do que as características do atendimento das empresas concorrentes.
Qualidade do atendimento	Oferecer, ou almejar oferecer, atendimento que o comprador julgue de melhor qualidade do que a das empresas concorrentes. (O atendimento refere-se à recepção, ao contato e à comunicação com o cliente).
Macrocampo Prazo	
Prazo de entrega do produto	Ofertar, ou almejar ofertar, prazo de entrega do produto menor do que o dos concorrentes e conseguir cumprir o prazo negociado.
Prazo de atendimento	Atender, ou almejar atender, o cliente em prazo menor do que o dos concorrentes. (O ato de atender refere-se à recepção, ao contato e à comunicação com o cliente).
Macrocampo Imagem	
Imagem do produto e da marca	Oferecer, ou almejar oferecer, produto que o cliente julgue ter melhor imagem do que a dos produtos concorrentes e possuir, ou almejar possuir, imagem crível do produto e da marca mais favorável do que a dos concorrentes, num aspecto valorizado pelos clientes.
Imagem de empresa confiável	Possuir, ou almejar possuir, imagem crível mais favorável do que a dos concorrentes, num aspecto valorizado pelos clientes, funcionários, fornecedores, membros da sociedade, acionistas e investidores.
Imagem em responsabilidade social	Possuir, ou almejar possuir, imagem crível em responsabilidade social (quanto à comunidade, cidadania e meio ambiente) mais favorável do que a dos concorrentes, num aspecto valorizado pelo cliente. É composto pela imagem cívica e imagem preservacionista.

Fonte: Contador, (2008).

Armas da competição:

No modelo CAC, as armas correspondem aos recursos, técnicas, sistemas e práticas organizacionais que ajudam a empresa a obter e manter vantagem competitiva.

Essa ideia é extremamente útil para a gestão de operações, pois mostra que um recurso interno não possui valor estratégico fixo e universal. A significância da arma depende do campo em que a empresa escolhe competir e do alvo definido para essa arma. Assim, duas organizações podem utilizar instrumentos semelhantes, mas com propósitos competitivos distintos (Contador, 2008).

Contador distingue arma de arma da competição:

Arma é qualquer técnica utilizada pela empresa ou recurso administrado por um grupo de funcionários com atribuições homogêneas (Contador, 2008).

Arma da competição é qualquer técnica ou recurso utilizado para conquistar e/ou manter vantagem competitiva (Contador, 2008).

Essa distinção impede que qualquer atividade interna seja automaticamente tratada como estratégica (Contador, 2008).

Em termos analíticos, isso significa que nem toda competência organizacional é, por si, uma arma da competição. Uma prática administrativa pode ser apenas necessária à operação corrente, ela só adquire caráter de arma quando efetivamente contribui para o alcance e a sustentação da vantagem competitiva em um campo escolhido (Contador, 2008; Contador, 2009).

Contador (2008) fornece uma biblioteca de três centenas de armas. Dessas, a empresa utiliza com frequência cerca de uma centena, das quais metade são armas da competição.

Classificação das armas da competição:

As armas da competição são classificadas segundo a sua natureza e segundo sua relevância para competir em um dado campo.

Segundo a sua natureza são classificadas em: armas de atendimento; de produção; de planejamento; administrativas; e armas de cooperação. Arma da cooperação é a atividade executada ou o recurso utilizado pela empresa para servir, juntamente com outras, à finalidade de gerar benefícios comuns. É sob essa classificação que elas são fornecidas na biblioteca de armas.

A classificação das armas segundo a relevância constitui um dos elementos centrais do modelo CAC, pois estabelece a ligação direta entre a estratégia de negócio e a estratégia operacional. Nesse contexto, as armas são classificadas como relevantes, semirrelevantes ou irrelevantes sempre em relação a um campo de competição específico, evidenciando que sua importância é essencialmente relacional. Essa lógica incorpora o princípio da qualidade seletiva, no qual os investimentos devem ser concentrados nas armas que efetivamente sustentam a vantagem competitiva, evitando a dispersão de recursos em áreas sem impacto estratégico. Uma arma da competição é relevante se proporciona elevada vantagem competitiva no campo escolhido para competir. Se uma arma da competição é irrelevante se não propicia vantagem competitiva no seu campo da competição nem no seu campo coadjuvante. Ou seja, é uma arma de competição inútil para uma determinada estratégia competitiva de negócio e deve ter baixa intensidade, exigindo pequeno investimento. Se uma arma da competição é semirrelevante se proporciona mediana vantagem competitiva no seu campo da competição. É uma arma de importância intermediária entre as armas relevantes e as irrelevantes para o campo da competição e deve ter intensidade média, sendo injustificável um alto investimento. (Contador, 2008; Contador, 2009).

Armas relevantes devem ser priorizadas em termos de investimento, gestão e melhoria contínua, especialmente em ambientes industriais, nos quais representam a base operacional da estratégia. Assim, o modelo CAC orienta as organizações a direcionarem esforços de forma estruturada, garantindo coerência entre posicionamento estratégico e capacidade de execução (Contador, 2008).

O modelo CAC fornece dois métodos principais para classificar as armas: a matriz de priorização de armas e o método expedito. Como, neste trabalho adotou-se o primeiro, procedimento, ele é descrito a seguir.

A matriz de priorização das armas é uma matriz quadrada que contém todas as armas da competição da empresa nas linhas e nas colunas, na mesma ordem. A classificação parte da comparação de cada arma da linha com todas as armas das colunas e da atribuição, em cada célula da matriz, dos pesos do Quadro 5, conforme a importância da arma: linha com relação à da coluna.

Quadro 5 – Pesos para priorização de armas

Pesos	Importância da arma da linha em relação às das colunas
2	Muito mais importante
1	Mais importante
0	De igual importância
-1	Menos importante
-2	Muito menos importante

Fonte: Contador (2008).

Os pesos atribuídos nas células de cada linha são então somados, o que possibilita ordenar as armas segundo a relevância que possui para o respectivo campo da competição e gerar um *ranking* de relevância. Como a matriz é diagonalmente simétrica, com sinal trocado, é uma matriz de soma nula. Portanto basta comparar cada arma da linha com aquelas que se encontram à direita da diagonal da matriz.

Para identificar as armas relevantes, Contador (2008) sugere adotar o índice de Nihans (*N*), após tornar positivos todos os números da coluna da soma dos pesos (coluna *S*) adicionando uma constante adequada. Esse índice divide o conjunto de armas em duas classes: classe *A*, aquelas armas cuja soma dos pesos for maior que *N* (armas relevantes), e classe *Não-A* (as demais armas). Aplicando-se novamente o índice Nihans sobre essa última classe, identificam-se as armas semirrelevantes (nova classe A) e as irrelevantes (as demais). O índice de Nihans é calculado conforme a Equação 1.

$$N = \text{soma dos quadrados dos valores da coluna S} \div \text{soma dos valores da coluna S} \quad (1)$$

A classificação das armas está relacionada ao campo da competição. Uma arma relevante para um campo pode ser irrelevante para outro.

As variáveis quantitativas do modelo:

O modelo CAC considera cinco principais variáveis quantitativas: grau de competitividade; intensidade da arma; intensidade média das armas; foco das armas no campo da competição; dispersão das armas no campo da competição. As duas primeiras são variáveis primárias, obtidas da empresa focada para análise, enquanto as outras três são variáveis fundamentais que embasam a tese do modelo CAC.

Grau de competitividade é uma variável matemática que mede o quanto uma empresa é mais competitiva que outra empresa de um mesmo segmento econômico, utilizando um indicador de crescimento de mercado.

Nos estudos realizados pelo modelo CAC, tem-se adotado o indicador de crescimento de mercado dado pela diferença entre as receitas da empresa no início e ao fim de um período de quatro ou cinco anos, dividida pela sua receita no primeiro ano deste período.

Intensidade de uma arma é uma variável discreta definido no intervalo [1, 5] que representa o nível de excelência com que é utilizada pela empresa. Quando a arma não é utilizada pela empresa recebe intensidade 0 (zero).

Essa medida expressa o estado de desenvolvimento técnico e administrativo da organização em relação a cada arma (Contador, 2008).

A intensidade é uma variável central porque transforma percepções qualitativas sobre capacidades organizacionais em um gradiente mensurável. Com isso, a empresa pode comparar sua posição atual, simular alternativas e discutir de forma mais objetiva onde precisa investir para sustentar determinados campos de competição (Contador, 2008; Contador, 2009).

A *intensidade média das armas* é dada pela média aritmética da intensidade de todas as armas da competição da empresa.

Essa variável mede a competência interna da empresa, dada pelo nível da intensidade do seu conjunto das armas da competição e independe do campo da competição escolhido.

Foco das armas no campo da competição, ou simplesmente foco das armas, é calculado pela Equação 2:

(Soma da intensidade das armas relevantes) ÷ (5 x Nº de armas relevantes) (2)

O denominador representa soma da intensidade máxima possível de ser obtida nas armas relevantes. Portanto, é uma variável definida no intervalo [0, 1]. Essa variável mede a aplicação de esforços nas armas que proporcionam vantagem competitiva no campo escolhido para competir

Dispersão das armas no campo da competição, ou simplesmente dispersão das armas é calculada da mesma forma que o foco, envolvendo as *armas irrelevantes*.

Validação da tese do modelo CAC:

A validação do modelo CAC foi conduzida por meio de pesquisa empírica envolvendo 176 empresas de doze diferentes segmentos industriais e de serviço (Contador, 2008).

Para isso, demonstrou-se que, em cada um dos estudos contendo uma amostra de empresas de um dado segmento de negócio:

a) a escolha do campo da competição não explica, por si só, porque uma empresa é mais competitiva que outra; e

b) dentre as variáveis intensidade média das armas e foco e dispersão de armas no campo da competição escolhido pela empresa competir, o foco é quem melhor explica por que uma empresa é mais competitiva que outra.

Para apresentar a afirmativa (a), em cada estudo as empresas foram divididas em dois grupos, a das mais competitivas e o grupo das menos competitivas, aplicando o índice de Nihans sobre conjunto de grau de competitividade.

Em seguida foram criados os dois conjuntos seguintes:

C(+) = conjunto de campos da competição citados pelas empresas mais competitivas

C(-) = conjunto de campos da competição adotados pelas empresas menos competitivas

Por exemplo:

C(+) = {A, B, A, B, C, D, C, C, A, E} e

C(-) = {C, D, B, F, D, C, C, F, A, E, A},

onde a letras A a F representam os campos da competição. Isto gera a seguinte Tabela 1 de contingência:

Tabela 1 – Representação dos campos da competição

Campo da competição	A	B	C	D	E	F
Empresas mais competitivas	3	2	3	1	1	0
Empresas menos competitivas	2	1	3	2	1	2

Fonte: Contador (2008).

Foi então aplicado um teste estatístico não paramétrico para verificar se era possível rejeitar a hipótese de existência de semelhança entre os dois conjuntos C(+) e C(-). Em todos os doze estudos não foi possível rejeitar a hipótese nula. ou seja, os conjuntos não podem ser considerados não semelhantes.

Com isso, conclui-se que a escolha do campo da competição não explica, por si só, porque uma empresa é mais competitiva que outra, pois tanto as empresas mais competitivas como as menos competitivas buscam competir em campos semelhantes.

Para demonstrar que o foco das armas é a variável que melhor explica por que uma empresa é mais competitiva que outra, foram aplicados testes de correlação estatística entre o grau de competitividade e as variáveis foco das armas e dispersão no campo escolhido pelas empresas para competir e a intensidade média das armas. A Tabela 2 exibe os resultados desses testes para os doze segmentos de negócio.

Tabela 2 – Resultados de testes para os doze segmentos de negócio

Segmento econômico – Área geográfica	**Quantidade de empresas**	**Coeficiente correlação de Pearson do GC com**		
		IMA	**Foco das armas**	**Dispersão das armas**
1. Indústria têxtil e couro – BR *	11	0,57	0,81	- 0,04
2. Serviço assistência técnica–BR*	15	0,76	0,84	0,67
3. Vinícola de São Roque – SP	12	0,78	0,90	0,41
4. Calçadista Vale dos Sinos – RS	14	0,84	0,83	0,86
5. Indústria têxtil Americana – SP	16	0,91	0,97	0,42
6. Indústria calçadista de Jaú – SP	30	0,32	0,91	0,29
7. Transporte aéreo de passageiros	8	0,66	0,85	0,56
8. Concessionárias Chevrolet – SP	13	0,52	0,89	0,25
9. Joalherias (varejo) – SP	13	0,74	0,92	0,27
10. Indústria fibras químicas – BR	12	0,61	0,96	0,25
11. Refeições p/ coletividade – BR	16	0,69	0,87	0,54
12. Confecções (varejo) – SP	16	0,63	0,93	0,43
Total de empresas e média do r	**176**	**0,669**	**0,890**	**0,409**
Coeficiente de explicação (r^2)		**0,448**	**0,792**	**0,167**

Fonte: Contador, (2008).

Dos resultados obtidos verifica-se que o foco das armas explica cerca de 80% do fenômeno da competitividade, a intensidade média possui coeficiente de explicação estatisticamente não considerável (<0,5) e a dispersão nada explica sobre esse fenômeno. Daí, a tese do modelo CAC:

> Para a empresa ser competitiva, não há condição mais relevante do que ter alto desempenho apenas naquelas poucas armas que lhe dão vantagem competitiva nos campos da competição escolhidos para cada par produto-mercado (Contador, 2008).

O modelo CAC-Redes:

O modelo CAC-Redes é uma extensão do modelo CAC. Trata-se de um modelo que serve para estudar a competição entre empresas de um mesmo segmento econômico que operam em redes de negócio e que busca responder:

Qual a influência das armas da competição e dos vínculos sociais na competitividade das empresas que operam numa rede de negócio? (Contador, 2008).

Vínculo da competição é qualquer conexão da empresa com os componentes de sua rede de negócios utilizada por ela para conquistar e/ou manter vantagem competitiva, e evidencia a capacidade que os componentes conectados (fornecedores, concorrentes, clientes, outros componentes do microambiente e elementos do território físico).

Os vínculos sociais envolvem confiança, comprometimento e cooperação entre todos os componentes da rede. A confiança é condição para o comprometimento e, juntos, possibilitam a cooperação entre organizações. Exemplos: a) atuação conjunta junto às instituições de crédito; b) troca de informação de forma transparente; c) compartilhamento de novos conhecimentos; d) relação com órgãos públicos, privados e de pesquisa

Assim, além das armas da competição, esse modelo agrega também os chamados vínculos da competição

Seis estudos mais recentemente desenvolvidos com o intuito de responder a essa questão confirmam os achados desse modelo. A Tabela 3, elaborada por Contador et *al*. (2023), reproduz os principais resultados desses estudos. Conforme os autores dos estudos citados, as armas da competição e os vínculos da competição apresentam, comportamento semelhante.

Tabela 3 - Resultados de seis estudos mais recentes sobre o modelo CAC

Estudo	**Foco** [1]		**Dispersão**[2]		**IM**[3]	
	r	α	r	α	r	α
Rede de farmácias e drogarias do ABC Paulista (Araujo, 2017)	0.94	0.0005	0.29	0.4919	0.55	0,1572
Rede de escritórios brasileirosde contabilidade (Mitidiero, 2018)	0.92	0.0000	0,18	0.4733	0.53	0.0200
Rede de bananicultura do Vale do Ribeira (Costa, 2018)	0.97	0.000	0.56	0.012	0.91	0.000
Rede de indústrias brasileiras de automação e robótica (Fragomeni, 2020)	0.86	0.0000	0.39	0.1054	0.76	0.0002
Rede de bancos múltiplos brasileiros (Scura, 2021)	0,90	0.0000	0.10	0.7186	0.82	0.0002
Cluster vitivinicultor de São Roque (Gonçalves, *et al*. 2021)	0.93	0,0010	0,68	0.0629	0.84	0.0095

Legenda

(1) Foco das armas e dos vínculos da competição escolhido pela companhia

(2) Dispersão das armas e dos vínculos da competição escolhido pela companhia

(3) Intensidade média das armas e dos vínculos da competição

r = coeficiente de correlação de Pearson

α = significância do coeficiente de correlação de Pearson

Fonte: Contador (2008).

Avaliação geral do modelo CAC:

O modelo CAC permite:

a) entender como empresas de um mesmo segmento competem entre si;

b) explicar por que uma empresa é mais competitiva do que outra

c) mostrar que é possível aumentar a competitividade empresarial por meio de um claro entendimento da estratégia competitiva de negócio e do alinhamento entre os seus objetivos e as estratégias competitivas operacionais.

Isso mostra que o modelo CAC pode ser usado tanto para análise quanto para desenho prospectivo de estratégias (Contador, 2008).

A revisão realizada evidencia que o modelo de Campos e Armas da Competição constitui uma ferramenta relevante para o desdobramento da estratégia empresarial e para a gestão de operações, sobretudo porque integra posicionamento de mercado e capacitação operacional seletiva. Ao distinguir Campos e Armas, o modelo CAC organiza o fenômeno competitivo em termos inteligíveis, operacionais e mensuráveis, permitindo explicar a competitividade de forma mais refinada do que abordagens genéricas centradas apenas nas dimensões de custo ou diferenciação (Contador, 2008; Contador, 2009).

Além disso, o modelo oferece uma metodologia processual suportada por software (https://www.strategy.camposearmas.com.br), o que facilita sua aplicação em estudos de caso e em contextos organizacionais reais. A explicitação dos 14 campos da competição, o tratamento da relevância das armas e a ênfase no foco como variável explicativa da competitividade conferem ao modelo CAC especial utilidade para pesquisas orientadas à excelência operacional, alinhamento estratégico e priorização de investimentos (Contador, 2008).

Relação do modelo CAC com os objetivos desta pesquisa:

Os conceitos do modelo CAC serão utilizados no modelo aqui proposto em três momentos; a) na proposta e/ou confirmação da configuração da adequação do modelo de pilares da excelência operacional, aos dos campos da competição; b) na proposta de uma elucidação para garantir alta eficiência do modelo (liderança da empresa nos pilares), por meio da definição da intensidade das armas da competição relacionadas com os pilares; e c) na implementação do modelo, pela descrição do conteúdo das armas da competição correspondente à sua intensidade e posterior definição das ações administrativas necessárias para atender à descrição do seu conteúdo.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta pesquisa é aplicada, de caráter exploratório e descritivo, e adota uma abordagem de métodos mistos (qualitativo e quantitativo) para desenvolver e demonstrar a aplicação de um modelo destinado ao alcance da excelência operacional em linhas de manufatura. A escolha metodológica decorre da natureza do problema investigado, que exige, de um lado, compreender e interpretar práticas, recursos e julgamentos construídos no contexto industrial e, de outro, mensurar o desempenho da linha e tratar numericamente as variáveis do modelo de Campos e Armas da Competição (CAC). Métodos mistos não se limitam à presença simultânea de palavras e números, mas pressupõem a combinação planejada das abordagens qualitativa e quantitativa e sua integração para ampliar a compreensão do problema (Creswell, 2009). A orientação da pesquisa é dada através do problema de pesquisa que ocupa posição central e os métodos são selecionados de acordo com sua utilidade para produzir evidências capazes de responder ao objetivo do estudo. A investigação combina procedimentos qualitativos, empregados na interpretação da literatura, na construção conceitual do modelo, na adequação das armas ao contexto organizacional e no julgamento do time multifuncional, com procedimentos quantitativos, utilizados na mensuração dos pilares, na conversão dos julgamentos em escalas numéricas, no cálculo das variáveis do modelo CAC e na análise das associações entre essas variáveis e os indicadores de resultado (Creswell, 2009).

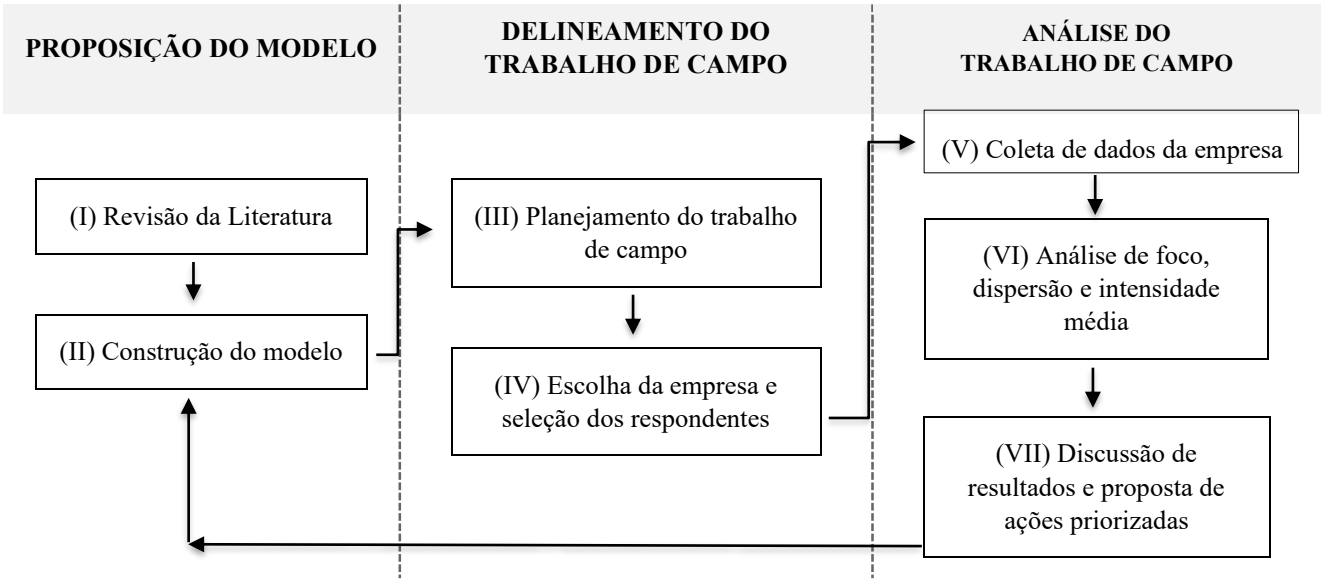
Quanto à temporalidade, as fases foram realizadas em sequência lógica. Quanto à ponderação, a interpretação qualitativa foi indispensável para construir e contextualizar o instrumento, enquanto a quantificação recebeu maior ênfase na aplicação, na comparação dos resultados e na priorização das ações. Quanto à integração, os dados foram conectados entre as fases e reunidos na interpretação final: os indicadores mostraram a condição de desempenho da linha, as variáveis de relevância, intensidade, foco, dispersão e intensidade média mostraram a distribuição dos esforços internos e as discussões do time multifuncional explicaram a aderência das armas, as lacunas observadas e a viabilidade das ações propostas. Essa explicitação de temporalidade, ponderação e forma de integração atende aos componentes recomendados para o planejamento de procedimentos de métodos mistos (Creswell, 2009).

A estratégia de investigação adotada no trabalho de campo caracteriza-se como trabalho de campo, conduzido em uma empresa fabricante de rolamentos e focalizado em uma linha de produção definida como unidade de análise. Essa abordagem permite examinar o fenômeno em seu

contexto real de ocorrência, utilizando múltiplas fontes de evidência, como dados operacionais, documentos internos, registros corporativos, indicadores associados aos pilares de excelência operacional e avaliações de especialistas diretamente envolvidos no processo. De acordo com as recomendações metodológicas para trabalhos de campo em Engenharia de Produção, a finalidade da pesquisa não consiste na generalização estatística dos resultados, mas na obtenção de conhecimento aprofundado sobre o caso investigado e na apresentação da aplicabilidade do procedimento metodológico, possibilitando sua replicação analítica em contextos organizacionais semelhantes (Oliveira *et al.*, 2009).

O procedimento metodológico da pesquisa foi estruturado em etapas sequenciais e inter-relacionadas, inicialmente, realizou-se a revisão da literatura para fundamentação teórica do estudo abordado e identificação dos conceitos necessários à construção do modelo de análise proposto pelo autor. Em seguida, procedeu-se ao planejamento do trabalho de campo, escolha da empresa e seleção de respondentes. Na sequência foi realizada a coleta de dados, efetuando a análise de foco, dispersão e intensidade média das armas da competição. Por fim, os dados obtidos foram consolidados, analisados e interpretados, permitindo a discussão dos resultados e das contribuições do estudo. A Figura 7 apresenta de forma esquemática o encadeamento dessas etapas (Oliveira *et al.*, 2009).

Figura 7 – Método esquemático para etapas de elaboração



Fonte: O autor, adaptado de Oliveira *et al.* (2009).

3.1 PROPOSIÇÃO DO MODELO

Na etapa I, a revisão da literatura teve como objetivo fornecer a fundamentação teórica sobre excelência operacional, sustentabilidade na manufatura, administração da produção, OEE, TPM, WCM e Campos e Armas da Competição (CAC). Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliométrica na base de dados Scopus, utilizando os termos "*Operational excellence*", "*Manufacturing*" e "*Sustainability*", que resultaram inicialmente em 181 documentos. Em seguida, foram aplicados critérios de refinamento relacionados ao tipo de documento (artigos e artigos de revisão), área temática (manufatura, engenharia e processos), idioma (inglês) e período de publicação (2013 a 2026), reduzindo a amostra para 45 documentos. Posteriormente, por meio da análise de títulos e resumos, foram selecionados 27 artigos aderentes ao problema de pesquisa e aos objetivos da dissertação, os quais constituíram a base da fundamentação teórica e permitiram identificar os principais autores, tendências, lacunas e oportunidades de integração entre excelência operacional, manufatura e sustentabilidade, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Análise descritiva de artigos

(OPERATIONAL EXCELLENCE AND MANUFACTURING AND SUSTAINABILITY)	
Itens analisados	**Resultado**
Número total de documentos	181
Palavra-extra na pesquisa (1º Critério)	(LIMIT TO (EXACTKEYWORD, "OPERATIONAL EXCELLENCE) OR LIMIT TO (EXACTKEYWORD, "PRODUCTION) OR LIMIT TO (EXACTKEYWORD, "SUSTAINABLE)
Tipo de documento (2º Critério)	Article or Review Article
Categoria (3º Critério)	LIMIT-TO (SUBJAREA, "MANUF") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")
Idioma (4º critério)	Inglês
Ano (5º critério)	PUBYEAR ≥ 2013 AND PUBYEAR ≤ 2026
Resultado dos documentos	45
Elegibilidade por Título e Resumo (6º critério)	Adesão ao projeto 27

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus (2026).

Na etapa II, esses referenciais foram integrados na construção do modelo proposto, estabelecendo a excelência operacional como resultante, disponibilidade, eficiência, qualidade, flexibilidade, rapidez e confiabilidade como pilares e sustentabilidade, saúde e segurança e capacitação organizacional como bases de sustentação, baseando-se no desenho estrutural da edificação da casa TPS por Liker (2005). A fundamentação teórica e a condição e experiência prática de manufatura do autor apresentam a configuração conceitual dos elementos constituintes do modelo proposto possibilitando a elaboração e formatação do modelo demonstrado. As etapas I e II constituíram a fase de proposição do modelo e são predominantemente qualitativas na pesquisa, pois envolveram interpretação teórica, comparação de modelos, identificação dos principais trabalhos da área e análise estruturada da literatura. A construção da fundamentação teórica foi orientada pelas recomendações de Nakano e Muniz (2018), que sugerem a seleção, síntese e análise crítica dos artigos científicos como suporte à elaboração de pesquisas empíricas e ao desenvolvimento de modelos conceituais (Nakano; Muniz, 2018).

3.2 DELINEAMENTO DO TRABALHO DE CAMPO

Na etapa III para o planejamento do trabalho de campo, os conceitos definidos no modelo foram operacionalizados mediante a especificação de indicadores, fórmulas de cálculo e referências de comparação para cada pilar. Disponibilidade, eficiência e qualidade foram mensuradas segundo a lógica do OEE, enquanto flexibilidade, rapidez e confiabilidade foram convertidas em medidas observáveis relacionadas ao desempenho da produção. Essa etapa estabeleceu a ligação entre a construção conceitual e a mensuração, permitindo que os elementos qualitativamente definidos fossem examinados por meio de dados operacionais (Nakajima, 1988; Slack *et al*., 2002). Além disso, foi elaborado o instrumento destinado à seleção das armas da competição pela biblioteca do modelo CAC, no qual foi examinada e avaliou a aplicabilidade das armas ao segmento metalmecânico e ao contexto do processo estudado, onde itens não aplicáveis foram excluídos, descrições foram adequadas à linguagem organizacional, conteúdos equivalentes foram consolidados e armas excessivamente abrangentes puderam ser desmembradas (Contador, 2008; Contador, 2009).

Na etapa IV, foram definidas a empresa, a linha de produção e os respondentes utilizados como unidade de análise. A empresa foi selecionada de forma intencional, considerando sua

aderência ao problema de pesquisa e sua capacidade de fornecer evidências relevantes para a aplicação do modelo. Trata-se de uma fabricante de rolamentos com razão social NSK, com atuação nos mercados industrial e automotivo, ambiente no qual coexistem exigências de disponibilidade, eficiência, qualidade, flexibilidade, rapidez, confiabilidade e controle de perdas. A seleção proposital do local é adequada à vertente qualitativa dos métodos mistos quando o caso oferece experiência direta com o fenômeno e acesso às informações necessárias para compreendê-lo (Creswell, 2009; NSK, 2026). A unidade de análise foi delimitada à linha de produção AS13, selecionada por sua representatividade operacional e elevado impacto das perdas produtivas. A linha correspondia a 19% do volume total da planta e apresentava o maior nível de perdas entre as linhas avaliadas, justificando sua escolha para aplicação e avaliação aprofundada do modelo proposto (NSK, 2026).

O estudo caracteriza-se nessa etapa prática como um trabalho de campo demonstrativo, conduzido em uma única empresa e em uma única linha de produção. Assim, os resultados permanecem vinculados ao contexto investigado, enquanto sua contribuição está na sistematização do método, dos critérios de seleção, das fórmulas e da lógica de integração empregada, possibilitando futuras replicações em outros contextos industriais (Creswell, 2009).

Quanto aos respondentes foram selecionados intencionalmente por conhecimento e experiência com o fenômeno estudado. Em vez de buscar representatividade estatística dos trabalhadores da empresa, a seleção buscou reunir informantes capazes de avaliar o processo, interpretar as armas e explicar sua relação com os pilares e as bases do modelo. Essa lógica corresponde à amostragem proposital empregada na vertente qualitativa dos métodos mistos, na qual os participantes são escolhidos porque conhecem diretamente o contexto e podem contribuir para a compreensão do problema (Creswell, 2009). Os critérios de seleção foram: atuação direta ou interface recorrente com a linha estudada, conhecimento dos indicadores e das perdas do processo experiência com práticas de manufatura, capacidade de avaliar recursos, técnicas e procedimentos organizacionais e disponibilidade para participar das discussões e validar os registros. A composição multifuncional foi adotada para ampliar a diversidade de evidências e favorecer a triangulação de perspectivas.

O time de respondentes foi composto por quatro profissionais: gerente de produção, supervisor de produção, engenheiro de produção e analista de produção. O grupo reuniu perspectivas gerenciais, operacionais, técnicas e analíticas, reduzindo a dependência de uma única

função na avaliação das práticas organizacionais. Os participantes possuíam, respectivamente, 12, 22, 31 e 7 anos de contribuição profissional, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Respondentes da priorização de armas da competição por pilar

Posição dos respondentes	Anos de contribuição	Contribuição ao tema
Gerente de produção	12	Seleção de armas da competição, atribuição de relevância e intensidade e priorização de ações.
Supervisor de produção	22	
Engenheiro de produção	31	
Analista de produção	7	

Fonte: O autor (2026).

A participação ocorreu em sessões estruturadas. Inicialmente, o grupo examinou a lista de armas e suas definições julgando com os critérios concordo (*C*); tendo a concordar (*TC*); discordo (*D*); e tendo a discordar (*TD*). Em seguida, discutiu a aplicabilidade de cada item ao contexto da empresa, classificou sua relevância (0~2) para os pilares e bases e avaliou a intensidade atual de utilização (1~5). Divergências foram tratadas por esclarecimento conceitual, consulta aos registros disponíveis e discussão orientada ao consenso. O valor consolidado foi registrado somente após a explicitação das justificativas, de modo a conservar o vínculo entre o julgamento qualitativo e sua codificação numérica. (Contador, 2009).

A dimensão qualitativa correspondeu às interpretações, argumentos e conhecimentos experienciais mobilizados pelo time. A dimensão quantitativa resultou da conversão dos julgamentos nas escalas de relevância e intensidade e de seu posterior tratamento matemático. A integração ocorreu no próprio instrumento e na interpretação: as pontuações indicaram padrões e prioridades, enquanto as justificativas explicaram por que determinada arma foi considerada aplicável, relevante ou insuficientemente desenvolvida. (Creswell, 2009).

3.3 ANÁLISE DO TRABALHO DE CAMPO

Na etapa V, os dados de cada pilar foram coletados quanto a linha AS13 da empresa NSK, representando o resultado atual em cada um dos indicadores definidos na etapa III e consolidando o *status* atual da linha de manufatura selecionada como objeto do estudo. Além disso, as armas da competição selecionadas pelos respondentes que compõem o time multifuncional foram avaliadas quanto à relevância para cada pilar e base de sustentação e quanto à intensidade de utilização na

empresa. A relevância foi representada pelos valores 0, 1 e 2, correspondentes, respectivamente, às armas irrelevantes, semirrelevantes e relevantes. A intensidade foi expressa em escala discreta de 1 a 5, na qual valores crescentes indicam níveis mais elevados de desenvolvimento e utilização da arma, conforme apresentado na Figura 8. Dessa forma, os julgamentos qualitativos do time foram convertidos em dados numéricos, mantendo-se o registro das justificativas que fundamentaram as classificações (Contador, 2008; Contador, 2009).

Figura 8 – Pesos para relevância e intensidade

RELEVÂNCIA	
Pesos	Relevância da arma em relação ao pilar ou base
2	Relevante
1	Semirrelevante
0	Irrelevante
INTENSIDADE	
Pesos	Intensidade das armas (nível de excelência)
5	Estado mais avançado da arma
4	Estado tendendo para o mais avançado da arma
3	Estado intermediário da arma
2	Estado tendendo para o mais simples da arma
1	Estado mais simples da arma

Fonte: Adaptado de Contador (2009).

Na etapa VI, o tratamento quantitativo compreendeu a consolidação da matriz de armas, o cálculo da intensidade média das armas, do foco e da dispersão e a análise da associação dessas variáveis com os indicadores dos pilares e bases de sustentação. Também foram calculadas as diferenças entre a intensidade atual e a intensidade proposta, além da abrangência de cada arma sobre os elementos do modelo. A estatística descritiva foi utilizada para organizar e comparar os resultados, e o coeficiente de correlação de *Spearman* (natureza ordinal das variáveis e reduzido número de amostras) foi empregado para examinar associações no caso estudado, sem finalidade de inferência causal ou generalização estatística.

Na etapa VII, os resultados qualitativos e quantitativos foram integrados com o propósito de consolidar o diagnóstico da linha de manufatura e orientar a definição de ações priorizadas para o alcance da excelência operacional. Os indicadores dos pilares permitiram avaliar o desempenho atual da operação, enquanto as variáveis do modelo CAC, especialmente relevância, intensidade,

foco, dispersão e intensidade média das armas, possibilitaram compreender como os esforços organizacionais estavam distribuídos entre os fatores que sustentam os resultados produtivos. A análise integrada evidencia os pilares que apresentam os maiores desvios em relação às metas estabelecidas, direcionando a priorização das armas da competição com maior potencial de impacto nesses elementos. Os julgamentos do time multifuncional, associados aos registros das discussões e às evidências operacionais, permitiram interpretar as causas das lacunas identificadas e transformar os achados do diagnóstico em propostas concretas de melhoria. Dessa forma, a integração dos dados demonstrou que o modelo não apenas avalia a condição atual do sistema produtivo, mas também estabelece uma lógica estruturada para direcionar as ações administrativas, conectando o diagnóstico dos pilares à priorização das armas capazes de elevar os focos para níveis próximos aos observados em empresas de maior desempenho competitivo, conforme os pressupostos do modelo CAC (Creswell, 2009; Creswell, 2014; Contador, 2009).

4 MODELO PARA ALCANCE DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL

4.1 O MODELO PROPOSTO

O modelo proposto foi desenvolvido com base no referencial teórico dos modelos de excelência operacional revisados, é proposto um modelo de uma estrutura análoga ao de uma edificação construído de base, pilares e telhado, apresentada no Quadro 7. Cada tema principal foi classificado como resultante, pilar ou base, e essa categorização orientou a construção do modelo proposto com artigos de referências e conceitos explanados com fundamentação do modelo.

Quadro 7 – Elaboração do modelo proposto através da análise de referências

Tema principal	Artigo/obra analisado	Justificativa	Saída
Excelência operacional	Tortorella *et al*. (2022); Antony *et al.* (2024); Son *et al.* (2024); Sony e Antony (2024); Singh e Khan (2024); Affaki *et al.* (2025); Bhasin (2025); Hamoumi *et al*. (2025); Zhang *et al*. (2025); Gauss *et al*. (2026).	Desenvolvimento do modelo proposto pelos autores e demonstrado como tema relevante abordado para geração de valor na manufatura	Resultante (Telhado: o que deve ser sustentado)
Disponibilidade	Nakajima (1988); Schonberger (1996); JIPM (2002); Andersson e Bellgran (2015); Singh (2020); Rahman *et al.* (2020); Tortorella *et al.* (2020); Haddad *et al.* (2021); Carvalho *et al.* (2022); Antony *et al.* (2024); Sony e Antony (2024); Garcia *et al*. (2025); Zhang *et al.* (2025).	Citação de OEE aparece em 66% dos artigos avaliados como principal indicador e geração de valor na excelência operacional, abordando conceitos do WCM e TPM para *performance* operacional	Pilar (Sustentação do resultado
Eficiência			Pilar (Sustentação do resultado
Qualidade			Pilar (Sustentação do resultado
Flexibilidade	Schonberger (1996); Slack *et al.* (2002); Tortorella et al. (2020); Sahu *et al.* (2022); Harikannan, Vinodh e Antony (2023); Antony *et al*. (2024); Sony e Antony (2024); Garcia *et al.* (2025); Hamoumi *et al*. (2025); Gauss *et al*. (2026).	Ênfase principal na abordagem de Slack, Chambers e Johnston (2002), para geração de excelência operacional dentro do processo de manufatura cuidando da entrega e custo de processo, temas também abordados no WCM	Pilar (Sustentação do resultado
Rapidez			Pilar (Sustentação do resultado
Confiabilidade			Pilar (Sustentação do resultado
Sustentabilidade, Saúde e Segurança	Schonberger (1996); JIPM (2002); Thürer, Stevenson e Silva (2020); Sahu *et al*. (2022); Harikannan, Vinodh e Antony (2023); Martusewicz *et al*. (2025); Shrivastava e Mishra (2025); Dacre *et al.* (2025); Singh, Kumar e Sharma (2025).	Citado não como fator resultante, mas base para o processo de manufatura sustentável, tema citado no WCM e TPM	Base de sustentação (alicerce)
Capacitação organizacional		Citado não como fator resultante, mas base para o processo de manufatura sustentável, tema citado no WCM e TPM	Base de sustentação (alicerce)

Fonte: O autor (2026).

O formato de casa ou templo foi adotado por representar, de forma visual e sistêmica, a integração dos elementos necessários para alcançar a excelência operacional Figura 9, seguindo a

lógica utilizada pelo Sistema Toyota de Produção (TPS). Assim como em uma construção civil, a base é o alicerce fornece sustentação à estrutura, sendo composta pela Capacitação Organizacional e pela Sustentabilidade, Saúde e Segurança. Os pilares representam os fatores críticos de desempenho, formados por Disponibilidade, Eficiência, Qualidade, Flexibilidade, Rapidez e Confiabilidade, que sustentam os resultados organizacionais. O telhado simboliza a Excelência Operacional, objetivo final do modelo. Dessa forma, a ausência ou fragilidade de qualquer componente compromete a estabilidade de toda a estrutura, evidenciando que a excelência operacional depende da atuação integrada e equilibrada de todos os elementos do sistema (Liker, 2005; Nakajima, 1988; Sony; Antony, 2024).

Figura 9 – Modelo proposto para alcance da excelência operacional



Fonte: O autor (2026).

4.2 DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO

Excelência operacional (resultante do que deve ser sustentado - telhado): Refere-se ao desenvolvimento contínuo de processos, sistemas e recursos para atingir altos níveis de eficiência, qualidade e produtividade, maximizando valor ao cliente e reduzindo desperdícios. Está alinhada a abordagens como TPM e WCM, nas quais a integração dos pilares demonstra a competitividade e o tripé da sustentabilidade ao longo do tempo (Sony; Antony, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

Disponibilidade (pilar – sustentação de resultado): No contexto do OEE, representa o tempo em que o equipamento permanece operando em relação ao tempo planejado. Está fortemente ligada

aos pilares de manutenção do TPM e WCM, que buscam eliminar as paradas por falhas, garantindo maior confiabilidade e estabilidade operacional (Nakajima, 1988).

Eficiência (pilar – sustentação de resultado): No contexto do OEE, mede o desempenho do equipamento frente à sua capacidade nominal, evidenciando perdas por redução de velocidade. Relaciona-se às práticas de melhoria contínua do TPM e WCM, voltadas à otimização do processo e eliminação de desperdícios operacionais (Nakajima, 1988).

Qualidade (pilar – sustentação de resultado): No contexto OEE, expressa a proporção de produtos conformes em relação ao total produzido, destacando as perdas de produção por defeitos e retrabalho. Conecta-se aos pilares de qualidade e custo do TPM e WCM, com foco na redução da não qualidade e aumento da confiabilidade do processo (Nakajima, 1988).

Flexibilidade (pilar – sustentação de resultado): Refere-se à capacidade de adaptar rapidamente processos produtivos diante de mudanças de demanda ou mix de produtos. Está associada às práticas de logística e atendimento do WCM, garantindo resposta ágil sem comprometer a eficiência operacional (Slack *et al*., 2002; Tortorella, 2020).

Rapidez (pilar – sustentação de resultado): Relaciona-se à velocidade de execução das operações, impactando diretamente lead time e competitividade. Esse atributo se conecta aos fluxos enxutos e práticas de sincronização produtiva presentes em modelos teóricos como WCM (Slack *et al*., 2002; Tortorella, 2020).

Confiabilidade (pilar – sustentação de resultado): Representa a consistência no cumprimento de prazos, padrões e especificações, reduzindo variabilidade e retrabalho. Está alinhada aos pilares de manutenção e custo do WCM, que priorizam estabilidade e previsibilidade operacional (Slack *et al*., 2002; Tortorella, 2020).

Sustentabilidade, Saúde e Segurança (base – alicerce da construção): Engloba práticas voltadas à preservação ambiental, segurança e bem-estar dos colaboradores. Integra-se aos pilares de segurança e meio ambiente do TPM e WCM, promovendo desempenho produtivo com responsabilidade socioambiental (Thurer *et al*., 2020; Shrivastav; Mishra, 2025; Dacre *et al.,* 2025).

Capacitação Organizacional (base – alicerce da construção): Refere-se ao desenvolvimento contínuo de competências técnicas e culturais, essencial para sustentar a excelência operacional. Está associada aos pilares de pessoas do TPM e WCM, reforçando o papel dos colaboradores na melhoria contínua e na inovação (Singh; Khan, 2024).

4.3 VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O modelo proposto fundamenta-se nos objetivos da manufatura proposto pelo JIPM (2002) e por Slack *et al*. (2002) e foi construído a partir do referencial teórico dos modelos: Administração da produção, OEE, TPM e WCM abordando a mensuração dos modelos e os conceitos estratégicos de gerenciamento. Adicionalmente o modelo CAC para a seleção de ações administrativas que direcionam a melhora dos indicadores de processo (Sony; Antony, 2024).

O Quadro 8 evidencia que o modelo proposto consolida diferentes contribuições identificadas na literatura de gestão de operações ao relacionar seus pilares e bases com conceitos e ferramentas da gestão da produção em direção a excelência operacional. Os pilares Disponibilidade, Eficiência e Qualidade correspondem diretamente às dimensões dos três índices que compõem o OEE, referem-se também ao WCM e TPM, associados à confiabilidade dos equipamentos, desempenho produtivo e controle de defeitos, contidos também nos conceitos de preço para modelo CAC. Quanto à Flexibilidade, Rapidez e Confiabilidade refletem os objetivos de desempenho da produção propostos por Slack *et al.* (2002), ligados à capacidade de adaptação, agilidade operacional e consistência nas entregas, *mix* de produtos e prazos de entrega.

Já na base de sustentação, Sustentabilidade, Saúde, Segurança e Capacitação Organizacional representam atributos chave de uma organização que os modelos WCM e TPM, se propõem a melhorar e controlar de modo a assegurar a responsabilidade socioambiental e o desenvolvimento das pessoas. Dessa forma, o modelo proposto integra diferentes abordagens consagradas em um *framework* conceitual, que articula sistematicamente o desempenho operacional e suporte organizacional para sustentar a excelência operacional.

Quadro 8 – Configuração conceitual dos elementos constituintes do modelo proposto

Referência teórica/Modelo	Modelo do autor	CAC	ADMINISTRAÇÃO DA PROD.	OEE	TPM	WCM
Pilares	Disponibilidade	Preço	Custo (Custo indireto e direto do processo de manufatura)	Disponibilidade	Manutenção Autônoma	Manutenção autônoma e Manutenção profissional
	Eficiência		Custo (Custo indireto e direto do processo de manufatura)	Eficiência	Melhoria Específica	Gestão de custo e Melhoria focada
	Qualidade	Qualidade de produto	Qualidade (Qualidade dos produtos e processos internos)	Qualidade	Controle Inicial e Manutenção da Qualidade	Controle de qualidade
	Flexibilidade	Diversidade de produtos	Flexibilidade (mix de produção)	-	Controle Inicial	Gestão de produtos
	Rapidez	Prazo de entrega - dimensão velocidade	Rapidez (Entrega ao cliente e sua satisfação).	-	-	Logística e serviço
	Confiabilidade	Prazo de entrega - dimensão pontualidade	Confiabilidade (Entrega ao cliente e sua satisfação)	-	Manutenção Planejada	Gestão de equipamentos
Base de sustentação	Sustentabilidade, Saúde e segurança	Projeto do produto/processo	-	-	-	Meio ambiente
		Imagem preservacionista		-	Segurança, Saúde e Meio ambiente	Segurança
	Capacitação Organizacional	Diversas armas da competição	Gestão de pessoas (liderança e suporte)	-	Educação, Treinamento e Administrativo	Desenvolvimento de pessoas
				-		

Fonte: O autor (2026).

O modelo proposto estabelece uma relação direta com os referenciais selecionados de excelência operacional ao associar o campo competitivo preço e custo da administração da produção aos pilares de eficiência e disponibilidade, uma vez que a eficiência produtiva, entendida como a capacidade de maximizar a produção com o menor uso de recursos, e a redução de paradas improdutivas, que impactam a disponibilidade, convergem para o conceito de produtividade, elemento central das armas competitivas do modelo CAC. Nesse contexto, o pilar qualidade mantém correspondência direta com o índice de qualidade do OEE, preservando a lógica estrutural dessa métrica, ao mesmo tempo em que se alinha às abordagens do TPM e do WCM e Administração da produção, que enfatizam a busca por zero defeitos e estabilidade dos processos. Complementarmente, os pilares flexibilidade, rapidez e confiabilidade refletem os requisitos de produção nivelada, atendimento a prazos e consistência operacional, sendo sustentados por práticas típicas do WCM e do TPM, como redução de *setup*, eliminação de perdas e aumento da confiabilidade dos equipamentos. (Sony; Antony, 2024).

No que se refere à base de sustentação, o modelo proposto amplia a abordagem tradicional ao incorporar sustentabilidade, saúde, segurança e capacitação organizacional, aspectos tratados de forma mais fragmentada nos modelos teóricos. A integração entre projeto de produto e processo produtivo reforça a necessidade de produção limpa, segurança operacional e responsabilidade ambiental, alinhando-se aos pilares de segurança e meio ambiente do TPM e do WCM. Adicionalmente, a inovação em produto, associada ao campo competitivo do modelo CAC, e o uso de tecnologias digitais nos processos produtivos evidenciam a evolução para um ambiente manufatureiro mais inteligente, no qual o desempenho operacional deve considerar não apenas resultados técnicos, mas também impactos sobre o trabalhador e o meio em que atua. Dessa forma, o modelo proposto converge conceitualmente com CAC, OEE, TPM e WCM, ao mesmo tempo em que os integra em uma estrutura sistêmica, reforçando sua aplicabilidade na busca pela excelência operacional (Thurer *et al*., 2020; Martusewicz *et al*., 2025; Shrivastava; Mishra, 2025).

Sendo assim, o modelo proposto, o modelo CAC de Contador (2009), Conceitos de administração por Slack *et al*. (2002), OEE por Nakajima (1988), TPM e WCM pelo JIPM (2002) têm total relação e se justificam na concordância de fatores chave para busca da excelência operacional do processo produtivo, representados em um único modelo simplificado.

4.4 INDICADORES E METAS PROPOSTOS PARA OS PILARES

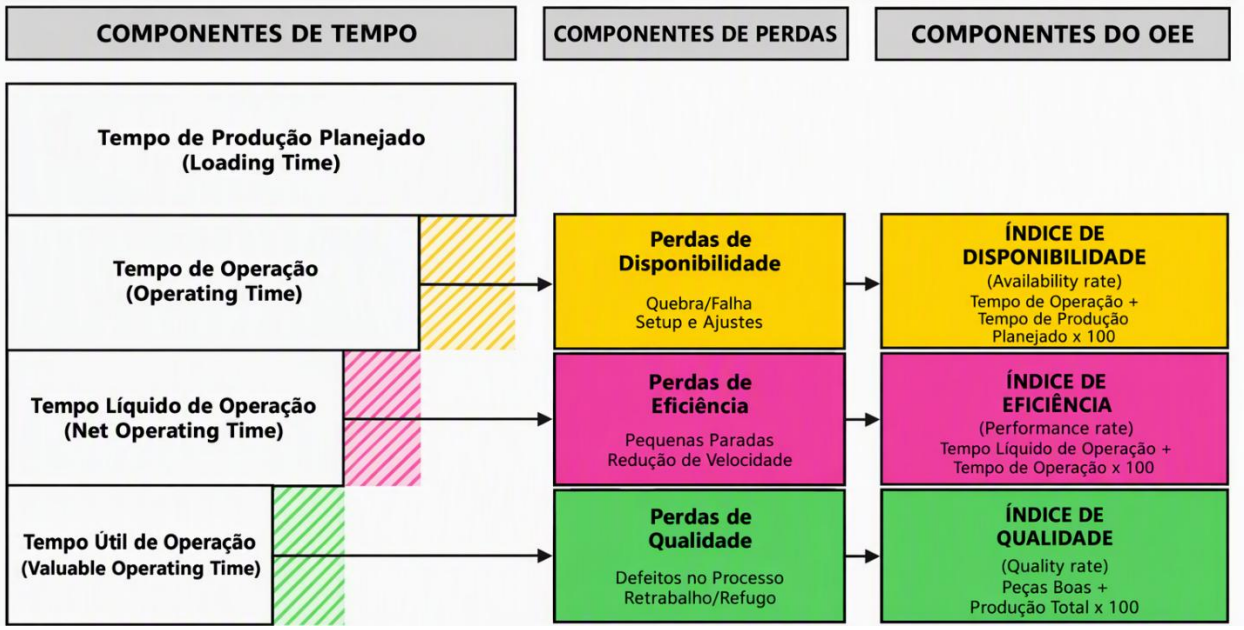
Pilar da Disponibilidade: Este pilar é avaliado com base no indicador OEE, considerando a relação entre o tempo de operação e o tempo de produção planejado. A disponibilidade mede o quanto o equipamento ou processo está realmente disponível para operar, descontando paradas não planejadas, *setups* e falhas. Quanto maior essa relação, maior a capacidade da operação de manter-se ativa e produtiva (Haddad *et al*., 2021).

Pilar da Eficiência: A eficiência é mensurada também pelo OEE, mas focando na comparação entre o tempo líquido de operação (ideal) e o tempo de operação. Este pilar avalia o desempenho operacional, identificando perdas por lentidão, micro paradas ou desvios de ritmo. Uma operação eficiente é aquela que transforma o tempo disponível em produção com o menor desperdício de tempos com os equipamentos em operação (Haddad *et al*., 2021).

Pilar da Qualidade: A qualidade é avaliada pela proporção entre as peças boas aprovadas como "*OK*" e a produção total produzida no processo. Este componente do OEE revela o impacto

dos defeitos e na produtividade. Quanto maior o índice de peças boas, maior a efetividade do processo em entregar produtos conforme os padrões exigidos (Haddad *et al*., 2021).

Figura 10 – Definições do OEE e de seus componentes



Fonte: Elaboração própria com conceitos extraídos de Nakajima no JIPM (1988).

Por fim de acordo com a Figura 10 as Equações 3, 4 e 5 indicam que Disponibilidade é quanto do tempo planejado para produção foi realmente utilizado, considerando paradas e perdas; é calculada dividindo o tempo de operação pelo tempo planejado. Eficiência mostra se a produção ocorreu na velocidade esperada, comparando o tempo líquido de operação com o tempo de operação baseada no ciclo padrão. Qualidade mede a proporção de peças boas em relação ao total produzido, descontando rejeições. Juntos, esses três fatores revelam não apenas se a máquina está funcionando, mas também se está produzindo rápido e com qualidade, permitindo uma visão completa da produtividade (Nakajima, 1988).

$$Disponibilidade(\%) = \frac{Tempo\ de\ \text{operação}}{Tempo\ \text{de produção planejado}} x100 \quad (3)$$

$$Eficiência(\%) = \frac{Tempo\ líquido\ (Produção\ real)}{Tempo\ de\ operação} x100 \quad (4)$$

$$Qualidade(\%) = \frac{(Produção\ total - Peças\ rejeitadas)}{Produção\ total} x100 \quad (5)$$

Metas para os indicadores dos pilares de OEE: *Benchmark* alcançados por empresas em nível de *World Class Manufacturing,* 85% para o OEE, disponibilidade em ≥90%, Eficiência ≥95% e qualidade ≥99,9% (JIPM, 2002).

Pilar flexibilidade demonstra a capacidade da manufatura de adaptar-se rapidamente às mudanças no mix de produtos, garantindo resposta ágil. Segundo Slack (Slack et *al.,* 2002), ela é um dos pilares estratégicos da produção, pois permite atender diferentes necessidades do cliente em ambientes dinâmicos. Esse indicador mede a capacidade da linha de manufatura de variar sua produção diariamente em relação à diversidade total de produtos planejados para um período (por exemplo, semana ou mês), conforme Equação 6 (Slack *et al*., 2002).

$$Flexibilidade(\%) = \frac{Mix\ de\ produtos\ produzidos\ por\ dia}{Número\ total\ de\ mix\ de\ produtos\ no\ período} x100 \qquad (6)$$

Meta para o pilar Flexibilidade: Garcia *et al*. (2025) em *World Class Manufacturing implementation in the fiberglass industry*, cita que na indústria atual, os níveis de flexibilidade devem ser elevados, sendo assim baseado em referenciais industriais de mercado automotivo assume-se atingir ≥85%, garantindo que a linha de manufatura consiga adaptar-se rapidamente a variações de mix e volume de acordo com padrões de mercados da indústria atual (Slack *et al*., 2002; Garcia *et al.,* 2025; LEAN MANUFACTURING ONLINE, 2025).

Pilar Rapidez refere-se à velocidade com que a empresa entrega produtos ao cliente, reduzindo lead time e aumentando a satisfação. Slack *et al*. (2002) definem rapidez como um objetivo de desempenho crítico para empresas que competem em mercados sensíveis ao tempo. O prazo acordado precisa ser medido e considerado nessa métrica conforme Equação 7, por exemplo, se dois dias é o *lead time* padrão dois dias de entrega é igual a 100%, *KPIs* industriais reforçam que *lead time* reduzido está diretamente associado à fidelização do cliente (Slack *et al*., 2002).

$$Rapidez\ (\%) = \frac{Prazo\ acordado\ (dias)}{Tempo\ real\ de\ entrega\ (dias)} x\ 100 \qquad (7)$$

Meta para a Rapidez: Tortorella *et al*. (2020*)*, em *Industry 4.0 and world class manufacturing integration,* citam a importância do prazo na indústria, sendo assim, assume-se que atingir ≥90% com base na indústria automotiva, assegurando tempos de resposta curtos e entregas dentro de prazos estabelecidos e acordados com o cliente envolvido (Tortorella *et al*., 2020; LEAN MANUFACTURING ONLINE, 2025).

Confiabilidade é a capacidade de cumprir prazos e especificações de forma consistente, evitando atrasos e falhas. Para Slack *et al*. (2002), confiabilidade é um critério ganhador em muitos mercados, pois reduz incertezas e custos de retrabalho. Indicadores como *On-Time Delivery* (OTD) são amplamente usados na indústria para medir esse aspecto, sendo considerados críticos para excelência operacional, representado pela Equação 8 (Slack *et al*., 2002).

$$Confiabilidade\ (\%) = \frac{Número\ de\ entregas\ realizadas\ no\ prazo\ com\ qualidade}{Número\ total\ de\ entregas}\ x\ 100 \qquad (8)$$

Meta para o pilar de confiabilidade: Garcia *et al*. (2025) em *World Class Manufacturing implementation in the fiberglass industry*, cita que níveis de confiabilidade devem satisfazer o cliente, sendo assim assume-se atingir ≥95%, baseado nas referências automotivas, garantindo cumprimento de prazos e qualidade prometida, de acordo com padrões de mercado (Slack *et al*., 2002; Garcia *et al*., 2025; LEAN MANUFACTURING ONLINE, 2025).

4.5 ELUCIDAÇÃO PARA O PROBLEMA DE PESQUISA E IMPLANTAÇÃO DO MODELO

Para obter a elucidação para o modelo proposto com a aplicação do modelo CAC deve-se:

- Passo 1. Identificar as armas da competição para o segmento industrial ao qual a empresa em questão pertence
- Passo 2. Avaliar a intensidade da utilização das armas da competição, em escala de 1 a 5;
- Passo 3. Alinhar as armas da competição aos pilares e às bases de sustentação do modelo;

O modelo CAC fornece uma biblioteca de três centenas de armas que cobrem quase todos os recursos internos que uma empresa dispõe. Portanto, tudo que se precisa para alcance da excelência operacional é o que a empresa já possui dentro do processo de seleção de armas. Dessas três centenas de armas, a empresa utiliza constantemente cerca de 100 e, dessas, cerca de 50 são armas da competição (capazes de alavancar qualquer um dos pilares do modelo proposto).

O mesmo modelo oferece também um procedimento bem definido para identificação das armas da competição, que pode ser encontrado em www.strategy.camposearmas.com.br (Passo 4), reproduzido a seguir. Orienta-se utilizar esse software para identificá-las:

- Passo 1) selecionar, a partir do link citado, todas as armas que poderiam ser utilizadas por empresas do segmento de negócio em questão, gerando a Lista de Armas versão 1 com 80

a 90 armas;

- Passo 2) analisar a Lista de Armas versão 1 junto com as áreas técnicas da empresa e eliminar aquelas que podem ser descartadas como possível arma da competição, fundir armas com conteúdo complementar, desmembrar outras que sejam muito abrangentes e adequar a descrição à cultura da empresa. Esse procedimento resulta a Lista versão 2, com cerca de 70 a 80 armas;
- Passo 3) elaborar um questionário com a descrição do conteúdo de cada uma das armas Versão 2 contendo a afirmação "esta arma, se utilizada na gestão da minha empresa, gera alguma vantagem competitiva em relação aos meus concorrentes", e oferecendo as seguintes opções de resposta: concordo (*C*); tendo a concordar (*TC*); discordo (*D*); e tendo a discordar (*TD*). Aquelas armas que receberam as opções *C* e *TC* da maioria dos participantes devem ser consideradas armas da competição. Esse processo deve resultar numa lista de 45 a 55 armas.

O conjunto de armas da competição é o mesmo para qualquer empresa de um mesmo segmento econômico. Assim, é fornecida no Apêndice A, a lista de Armas versão 1 (ponto de partida para identificação das armas da competição) para facilitar a possível utilização do modelo proposto em outras empresas pertencentes à indústria manufatureira metal mecânica.

A avaliação da intensidade com que a empresa utiliza suas armas pode ser feita, segundo o modelo CAC, da seguinte maneira: identificar, para cada arma, o concorrente *benchmarking* (que a utiliza com maior eficácia), considerar intensidade 5 para esse nível de utilização da arma e comparar com o nível de excelência com que sua empresa a utiliza. O alinhamento das armas da competição aos pilares e aos fatores da base do modelo consiste, segundo o modelo CAC, em identificar as armas relevantes, semirrelevantes e irrelevantes para cada um desses elementos e adotar valores altos da intensidade para as relevantes e valores menores para as demais. O modelo CAC fornece a matriz de priorização de armas, apresentada anteriormente, como procedimento para a classificação segundo a relevância.

A busca de solução para responder à pergunta de pesquisa será feita em duas fases. A primeira, abordando os seis pilares, gerando um resultado parcial e, a segunda, incluindo os elementos da base do modelo e que fornecerá a elucidação final para o modelo completo.

A implantação do modelo, por sua vez, busca extrair o maior rendimento dos seus elementos, o que só pode ser feito por meio de ações administrativas que levem as técnicas

operacionais ao nível de excelência adequado, ou seja, garantir o melhor alinhamento possível das armas com os elementos do modelo. A identificação das citadas ações administrativas deve ser feita por meio de um modelo participativo envolvendo o corpo técnico da empresa

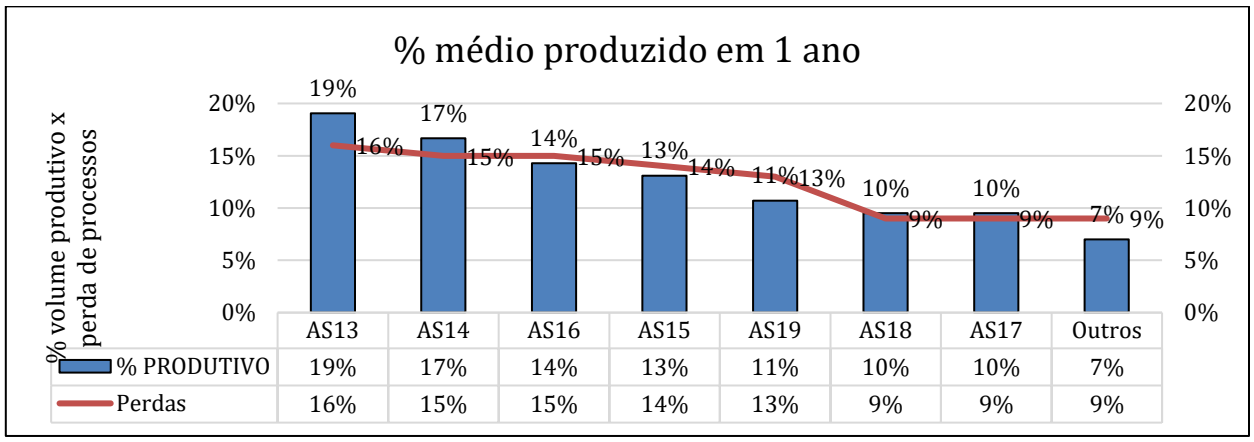
5 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA E IMPLANTAÇÃO DO MODELO

Nesta seção será mostrado como obter a elucidação do problema de pesquisa e sua implantação em uma empresa específica (NSK).

5.1 ESCOLHA DA EMPRESA E PROCESSO PRODUTIVO

A empresa de rolamentos NSK Ltda. do setor industrial e automotivo foi selecionada pelo trabalho por sua trajetória centenária de liderança global e posicionamento no Brasil desde a década de 1970. Para aplicação do modelo proposto, além da seleção da empresa foi necessária a escolha de uma linha de produção mais relevante no estudo, sumarizando a média produzida por linha dentro da empresa de rolamentos selecionada, uma das linhas é a de maior volume agregado representando 19% do volume total da planta e maior perda produtiva por paradas de processo, sendo assim os estudos serão focados nessa linha em questão AS13 apresenta no gráfico da Figura 11 para apresentar as análises e resultados do método aplicado na prática e monitoramento de resultados.

Figura 11 – Gráfico de dados coletados na indústria de rolamentos



Fonte: Empresa de rolamentos em solo brasileiro exercício FY24 (2024).

5.2 COLETA DE DADOS POR PILAR

Após a seleção da linha de manufatura, foram aplicadas as mensurações necessárias para avaliar o desempenho dos seis pilares do modelo proposto. Cada indicador foi calculado conforme

sua fórmula específica, resultando na Tabela 5, que demonstram o nível de atendimento em relação às metas de referência estabelecidas para disponibilidade, eficiência, qualidade, flexibilidade, rapidez e confiabilidade. Não houve atendimento da referência para os itens de eficiência e confiabilidade (dados fornecidos pela fábrica de rolamentos 2025 do período do ano de 2024).

Tabela 5 – Medição da linha da manufatura AS13 com base nos pilares do modelo

Pilar avaliado	Mensuração		Referência	Resultado	Atendimento
Disponibilidade	$Disponibilidade(\%) = \frac{Tempo\ de\ \text{operação}}{Tempo\ \text{de produção planejado}} x100$	(3)	≥90%	91,30%	Sim
Eficiência	$Eficiência(\%) = \frac{Tempo\ líquido\ (Produção\ real)}{Tempo\ de\ operação} x100$	(4)	≥95%	82,20%	Não
Qualidade	$Qualidade(\%) = \frac{(Produção\ total - Peças\ rejeitadas)}{Produção\ total} x100$	(5)	≥99,9%	99,92%	Sim
Flexibilidade	$Flexbilidade(\%) = \frac{Mix\ de\ produtos\ produzidos\ por\ dia}{Número\ total\ de\ mix\ de\ produtos\ no\ perído} x100$	(6)	≥85%	86,50%	Sim
Rapidez	$Rapidez\ (\%) = \frac{Prazo\ acordado\ (dias)}{Tempo\ real\ de\ entrega\ (dias)} x\ 100$	(7)	≥90%	91,40%	Sim
Confiabilidade	$Confiabilidade\ (\%) = \frac{Número\ de\ entregas\ realizadas\ no\ prazo\ com\ qualidade}{Número\ total\ de\ entregas} x\ 100$	(8)	≥95%	92,00%	Não

Fonte: O autor (2026).

5.3 ANÁLISE DO PROBLEMA

A Tabela 6 exibe as informações básicas para a abordagem do problema de pesquisa. Foram identificadas 56 armas da competição e analisadas pelo time multifuncional com os critérios concordo (*C*); tendo a concordar (*TC*); discordo (*D*); e tendo a discordar (*TD*). Os dígitos que aparecem nas células relacionadas com os seis pilares indicam a classificação da arma quanto à relevância para o respectivo pilar. Dígito 2, indica arma relevante; dígito 1, arma semirrelevante; e, dígito 0 (zero), arma irrelevante. A última coluna informa a intensidade com que cada arma é atualmente utilizada pela empresa, classificada em cinco níveis. Intensidade 1 indica o estado mais simples da arma e dígito 5, seu estado mais avançado.

Tabela 6 - Dados para elucidação do problema

Armas da competição									
Natureza	No.	Descrição	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabilidiade	Intensidade Avaliada
Administrativas	1	Capacitação de pessoal	0	2	2	1	2	2	5
	2	Comunidade colaborativa	0	1	1	1	0	0	1
	3	Contabilidade de custos	0	2	1	0	0	1	2
	4	Contabilidade estratégica	0	0	0	0	0	0	1
	5	Contabilidade gerencial (estratégica)	0	2	1	0	0	1	2
	6	Controle do desempenho operacional	1	2	2	1	2	2	4
	7	Desenvolvimento de softwares específicos para o negócio	0	1	0	2	2	1	4
	8	Disponibilidade de recursos financeiros	2	2	1	1	2	1	4
	9	Gestão do conhecimento (knowledge management)	0	1	2	2	1	1	3
	10	Liderança	0	1	1	1	1	1	2
	11	Motivação de pessoal	0	0	0	0	0	0	1
	12	Mudança na cultura da empresa	0	0	1	1	0	1	1
	13	Qualidade de vida no trabalho	0	0	1	0	0	0	1
De Atendimento	14	Disponibilidade de estoque	2	2	1	2	2	1	4
De Cooperação	15	Compartilhamento de conhecimento	1	1	2	2	1	1	3
	16	Desenvolvimento de sistemas operacionais	0	1	2	2	2	1	3
	17	Desenvolvimento de tecnologia de processo	0	2	2	2	2	2	5
	18	Desenvolvimento de tecnologia de produto	1	0	2	2	0	1	3
De Planejamento	19	Análise da viabilidade produtiva e de uso	0	1	1	2	1	1	4
	20	Análise de falhas do produto	2	0	2	0	0	2	4
	21	Análise e Engenharia do Valor (AV/EV)	1	2	0	0	0	0	1
	22	Avaliação do impacto de novas tecnologias no sucesso da empresa	1	0	1	1	1	1	2
	23	Captação das tendências e monitoramento das novidades	1	0	1	2	0	0	2
	24	Controle (avaliação ou auditoria) da estratégica competitiva de negócio	1	0	0	0	0	0	1
	25	Controle das estratégias competitivas operacionais	0	1	1	1	1	1	2
	26	Engenharia Simultânea ou Engenharia Concomitante (Concurrent Engineering)	1	1	1	2	1	1	4
	27	Funcionalidade e segurança do produto	1	1	2	1	1	2	4
	28	Gestão de riscos efetivos e potenciais	2	1	2	1	1	2	4
	29	Identificação das oportunidades, ameaças e riscos	0	1	1	1	1	1	2
	30	Monitoramento do desenvolvimento tecnológico	2	1	1	2	1	1	3
	31	Política de incentivo à inovação e renovação	1	1	1	2	1	0	3

Fonte: O autor (2026).

Tabela 6 - Dados para elucidação do problema (Continuação)

Armas da competição									
Natureza	No.	Descrição	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade	Intensidade Avaliada
De Produção	32	Agilidade para reprogramar a produção	1	0	0	2	2	0	2
	33	Agilidade para trocar de produto	1	0	0	2	2	0	2
	34	Análise de indicadores do nível de serviço	2	1	2	1	2	2	4
	35	Aquisição de matéria-prima e componentes com qualidade	1	2	2	1	1	2	4
	36	Automação do processo produtivo	2	2	1	2	2	2	4
	37	Controle da eficiência do trabalho	2	2	1	0	2	2	5
	38	Controle do processo	1	2	2	1	2	2	5
	39	Controle e melhoria da qualidade	2	1	2	1	1	2	5
	40	Engenharia de processo	2	2	2	2	2	2	5
	41	Equipamentos adequados de movimentação de materiais	2	2	1	1	2	0	3
	42	Gestão da manutenção de equipamentos	2	2	2	0	2	2	5
	43	Estudo do trabalho	1	2	2	0	1	2	3
	44	Gestão de fornecedores	2	2	2	2	2	2	4
	45	Higiene e segurança do trabalho	1	1	1	0	0	1	2
	46	Redução de setup, produção puxada e célula de manufatura	2	2	0	2	2	1	3
	47	Manual de instrução e procedimento	2	1	2	1	1	2	5
	48	Melhoramento contínuo no processo produtivo	1	2	2	1	1	2	5
	49	Produção (ou manufatura) customizada	2	0	0	2	1	0	2
	50	Programa permanente de aumento da produtividade na área de produção	1	2	1	0	1	1	3
	51	Proteção estratégica da produção	2	1	1	1	1	1	3
	52	Rapidez de produção	2	1	0	1	2	0	3
	53	Rastreabilidade	2	1	2	1	0	2	3
	54	Redução dos tempos inativos	2	2	0	1	2	1	3
	55	Sistema de Planejamento e Controle da Produção	2	2	1	2	2	2	5
	56	Tecnologia adequada ao processo produtivo	1	2	2	2	2	2	5

Legenda: Dígito 2 - Arma relevante; Dígito 1 - Arma semirrelevante; Dígito 0 - Arma irrelevante

Fonte: O autor (2026).

A Tabela 7 apresenta os valores das variáveis quantitativas fundamentais propostas pelo modelo CAC (foco, dispersão e intensidade média das armas) e os coeficientes de correlação de *Spearman* (dados ordinais de baixa amostragem).

Tabela 7 - Variáveis fundamentais do modelo CAC e suas correlações com os indicadores de resultado

	Pilares						
	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade	Coeficiente de correlação de Spearman com indicadores de resultado
No. Armas relevante	21	23	22	21	22	21	
Indicadores de resultado	91,30	82,20	99,92	86,50	91,40	92,00	
Foco	0,771	0,774	0,827	0,695	0,791	0,886	0,886
Dispersão	0,488	0,367	0,418	0,477	0,357	0,354	-0,314
Intensidade média	3,179	3,179	3,179	3,179	3,179	3,179	-0,029

Fonte: O autor (2026).

Observa-se uma forte correlação do foco das armas em cada pilar com seus respectivos indicadores (nível de significância de 0,025, conforme Siegel e |Castellan, 2006, Tabela Q, p.395) e correlação baixa com as duas outras variáveis.

Fazendo uma analogia com os estudos desenvolvidos por Contador (2008) que levaram a comprovação da tese do modelo CAC, a situação presente pode ser vista como se seis empresas competissem, cada uma em um campo da competição (pilar), e os indicadores de resultado de cada pilar representando o grau de competitividade de cada empresa.

O modelo CAC demonstrou que foco das armas no campo da competição é a variável que melhor explica por que uma empresa é mais competitiva que outra, apresentando forte correlação estatística com o grau de competitividade, enquanto que a intensidade média das armas apresenta correlação moderada, e a dispersão, correlação desprezível. Esses dois últimos resultados servem de contraprova da importância do foco na explicação do fenômeno da competitividade entre empresas de um mesmo segmento de negócio. Vê-se que os resultados aqui obtidos reproduzem esses resultados.

Conclui-se, portanto, que a tese do modelo CAC pode ser transportada para o caso em estudo e pode ser enunciada, de forma livre, como segue

Para aumentar os valores dos indicadores de resultados dos pilares basta aumentar o valor do foco das suas armas relevantes

Essa constatação mostra o caminho para conseguir melhorar o desempenho das empresas nesses seis pilares: designar altos valores de intensidade para as armas que são relevantes para cada um deles.

5.4 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA PARA A ABORDAGEM DOS PILARES (PRIMEIRA FASE)

Deixando de lado os resultados oferecidos pelo modelo CAC, a elucidação natural para alcançar a excelência na manufatura seria aquela que fornece o maior desempenho para os pilares e, para isso, toda técnica que contribui para a melhoria desse desempenho (armas relevantes e semirrelevantes) deve possuir máxima eficiência. Essa é a elucidação que seria ideal, o que, evidentemente, levaria a um custo de investimento bastante elevado, exigindo grande esforço e um longo tempo para sua implantação.

Se definirmos a medida do "esforço" de implantação de uma elucidação como sendo a soma do aumento de intensidade necessário para cada uma das armas, seu valor para a elucidação otimizante seria igual a 91 (soma da diferença entre a máxima intensidade e a atual para todas as armas relevantes e semirrelevantes que necessitam ser intensificadas).

Com base em tudo que foi tratado nesta seção e, inspirado nos conceitos do modelo CAC, sugerem-se o conjunto de regras definidas a seguir para determinar a intensidade das armas da competição para a primeira fase de elucidação do problema de pesquisa. As regras gerais se aplicam a qualquer empresa do mesmo segmento de negócio e servem de base para determinar a elucidação para a primeira fase da elucidação para a empresa em questão (NSK), ou outra qualquer empresa em particular.

Regras gerais

- Regra 1. Armas relevantes para pelo menos três pilares – atribuir intensidade 5.
- Regra 2. Armas relevantes para dois pilares – atribuir intensidade 4.
- Regra 3. Armas relevantes para um pilar ou semirrelevantes para três ou mais pilares - atribuir intensidade 3
- Regra 4. Regra de exceção (se sobrepõe às demais). Armas relevantes para o pilar Flexibilidade, se número de células com dígito 2 for igual a 2, adotar intensidade 5, se for igual a 1, adotar intensidade 4. Fazer isso com número de armas suficientes para alcançar foco próximo de 0,90
- Regra 5. Demais armas – manter a intensidade atual.

A Regra 4 faz-se necessária porque poucas armas relevantes para Flexibilidade se encaixam na Regra 1. Sem essa regra, o foco das armas nesse pilar ficaria abaixo do desejado

Regras para a empresa NSK

Regra 1. Para as armas cuja soma dos dígitos para os seis pilares é maior que 8, ou que são relevantes para o pilar Flexibilidade, adotar valor de intensidade originadas da aplicação das regras gerais;

Regra 2. As demais armas mantêm a intensidade atual (aquela avaliada);

O valor da soma dos dígitos a ser adotado na citado na Regra 1 para NSK depende da empresa em questão, e pode, portanto, variar. Deve-se optar pelo maior valor que leve o foco assumir valores próximos de 0,90 para a maioria dos pilares. Já, com relação à Flexibilidade, a regra de exceção pode ser generalizada para outras empresas do mesmo segmento de negócio, pois há pequena sobreposição das suas armas relevantes com as que são relevantes para os demais pilares. Esse fenômeno é geral. No presente caso, a aplicação da Regra de exceção levou as armas de ordem 21, 24, 29 e 32 de 4 para 5 e, a arma de ordem 30, permaneceu com intensidade 4.

Tabela 8 - Resultado da aplicação das regras gerais e regras para NSK

ARMAS		Classificação das armas quanto à relevância						Soma dos dígitos	células com dígito 2	intensidade atual	Intensidade proposta	
Número	Ordem	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade				Empresa em geral	Para NSK
40	1	2	2	2	2	2	2	12	6	5	5	5
44	2	2	2	2	2	2	2	12	6	4	5	5
36	3	2	2	1	2	2	2	11	5	4	5	5
55	4	2	2	1	2	2	2	11	5	5	5	5
56	5	1	2	2	2	2	2	11	5	5	5	5
6	6	1	2	2	1	2	2	10	4	4	5	5
14	7	2	2	1	2	2	1	10	4	4	5	5
17	8	0	2	2	2	2	2	10	5	5	5	5
34	9	2	1	2	1	2	2	10	4	4	5	5
38	10	1	2	2	1	2	2	10	4	5	5	5
42	11	2	2	2	0	2	2	10	5	5	5	5
1	12	0	2	2	1	2	2	9	4	5	5	5
8	13	2	2	1	1	2	1	9	3	4	5	5
28	14	2	1	2	1	1	2	9	3	4	5	5
35	15	1	2	2	1	1	2	9	3	4	5	5
37	16	2	2	1	0	2	2	9	4	5	5	5
39	17	2	1	2	1	1	2	9	3	5	5	5
46	18	2	2	0	2	2	1	9	4	3	5	5
47	19	2	1	2	1	1	2	9	3	5	5	5
48	20	1	2	2	1	1	2	9	3	5	5	5
15	21	1	1	2	2	1	1	8	2	3	5	5
16	22	0	1	2	2	2	1	8	3	3	5	5
27	23	1	1	2	1	1	2	8	2	4	4	4
30	24	2	1	1	2	1	1	8	2	3	5	5
41	25	2	2	1	1	2	0	8	3	3	5	3
43	26	1	2	2	0	1	2	8	3	3	5	3
53	27	2	1	2	1	0	2	8	3	3	5	3
54	28	2	2	0	1	2	1	8	3	3	5	3
9	29	0	1	2	2	1	1	7	2	4	5	5
26	30	1	1	1	2	1	1	7	1	4	4	4

Legenda: dígito 2 - Relevante; dígito 1 - semirrelevante; dígito 0 - irrelevante

Fonte: O autor (2026).

Tabela 8 - Resultado da aplicação das regras gerais e regras para NSK

(Continuação)

ARMAS		Classificação das armas quanto à relevância						Soma dos dígitos	células com dígito 2	intensidade atual	Intensidade proposta	
Número	Ordem	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade				Empresa em geral	Para NSK
51	31	1	1	1	1	1	1	6	0	5	3	5
7	32	0	1	0	2	2	1	6	2	4	5	5
18	33	1	0	2	2	0	1	6	2	3	4	4
19	34	0	1	1	2	1	1	6	1	4	4	4
20	35	2	0	2	0	0	2	6	3	4	5	4
31	36	1	1	1	2	1	0	6	1	3	5	5
50	37	1	2	1	0	1	1	6	1	3	3	3
52	38	2	1	0	1	2	0	6	2	3	4	3
10	39	0	1	1	1	1	1	5	0	2	3	2
22	40	1	0	1	1	1	1	5	0	2	3	2
25	41	0	1	1	1	1	1	5	0	2	3	2
29	42	0	1	1	1	1	1	5	0	2	3	2
32	43	1	0	0	2	2	0	5	2	2	5	5
33	44	1	0	0	2	2	0	5	2	2	5	5
49	45	2	0	0	2	1	0	5	2	2	5	5
3	46	0	1	1	0	0	1	3	0	2	3	2
5	47	0	1	1	0	0	1	3	0	2	3	2
23	48	1	0	1	2	0	0	4	1	2	4	4
45	49	1	1	1	0	0	1	4	0	2	3	2
2	50	0	1	1	1	0	0	3	0	1	3	1
12	51	0	0	1	1	0	1	3	0	1	3	1
21	52	1	1	0	0	0	0	2	0	1	3	1
13	53	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
24	54	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
4	55	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
11	56	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Legenda: dígito 2 - Relevante; dígito 1 - semirrelevante; dígito 0 - irrelevante

Fonte: O autor (2026).

O resultado da aplicação dessas regras para empresas do mesmo segmento de negócio (coluna “empresas em geral”, pode ter alteração em aplicação específica) e para a NSK, pode ser visto nas duas últimas colunas da Tabela 8. Nesta tabela, as armas estão ordenadas pelos valores decrescentes da soma dos dígitos dos seis pilares e estão identificadas pelo número que receberam na (Tabela 6). Essa ordenação é importante para visualizar as armas que são simultaneamente relevantes para um maior número de pilares e priorizá-las.

A Tabela 8 apresenta também a intensidade atual das armas e duas colunas auxiliares (número de células com dígito igual a 2 e soma dos dígitos) que auxiliam a aplicação das regras enunciadas anteriormente.

Observação: aquelas armas que assumirem intensidades iguais a 4 ou 5 são designadas armas relevantes-conjuntas.

A Tabela 9 apresenta os resultados de diversas variáveis para uma comparação entre a situação atual da empresa e aquelas obtidas para a primeira fase da elucidação para a empresas NSK.

Tabela 9 - Primeira fase da elucidação (empresas do mesmo segmento de negócio e NSK)

Variáveis relativas aos pilares	Disponi-bilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibi-lidade	Rapidez	Confiabi-lidade
No. de armas relevantes	20	20	22	21	22	21
Foco atual	0,77	0,77	0,83	0,70	0,79	0,89
Foco (regras gerais)	0,99	0,98	0,98	0,96	0,99	0,99
Foco (regras para NSK)	0,91	0,92	0,94	0,96	0,95	0,94

Variáveis relativas à empresa	Intenside. Média	Esforço	No. de armas relevantes-conjuntas	No. de armas a intensificar
Situação atual	3,2			
Com as regras gerais	4,1	49	37	33
Com as regras NSK	3,7	26	33	19

Fonte: O autor (2026).

Dos dados da Tabela 9 verifica-se que a elucidação geral eleva os valores dos focos maiores do que aqueles gerados pela elucidação para a empresa NSK, que atingem a meta, substancialmente maiores que os valores dos focos atuais, atendendo o que se deseja. Com relação à intensidade média das armas ocorre o mesmo movimento

A medida do esforço para a implantação da elucidação, tanto para empresas em geral quanto para a NSK é bastante inferior àquela relativa à elucidação otimizante (91). O número de armas relevantes para ambas as regras excede a orientação do modelo CAC, que sugere uma quantidade de armas de até 40% do total de armas da competição. Contudo, o número de armas a serem intensificada na elucidação NSK (19) parece sugerir um investimento aceitável.

Deve-se considerar que, no modelo CAC, busca-se altos valores dos focos para três ou quatro campos da competição que definem sua estratégia de negócio. Aqui estamos abordando seis pilares concomitantemente.

5.5 ELUCIDAÇÃO DO PROBLEMA INCLUINDO OS ELEMENTOS DA BASE DO MODELO (SEGUNDA FASE)

Para obter a elucidação da segunda fase para a empresa NSK aplicam-se as regras seguintes:

- Regra 1. Identificar, fora do rol de armas da competição, outras que sejam relevantes ou semirrelevantes para pelo menos um dos dois elementos, Sustentabilidade e Saúde e segurança, e classificá-las para ambos;
- Regra 2. Classificar as 56 armas da competição quanto à relevância para os dois elementos citados;
- Regra 3. Armas relevantes para ambos os elementos da base recebem intensidade 5;
- Regra 4. Armas relevantes para um dos dois elementos recebem o maior valor entre 4 e a intensidade recebida na fase 1;
- Regra 5. Armas semirrelevantes para pelo menos um dos elementos recebem o maior valor entre 3 e a intensidade herdada da elucidação para a fase 1;
- Regra 6. As demais ficam com intensidade igual à da elucidação da fase 1 para a empresa NSK;

Observação: as regras 2 a 6 aplicam-se a todas as armas, inclusive as 56 da competição

Para obter a elucidação final do problema, deve-se ainda fazer uma verificação dos valores dos focos e da intensidade média resultante da elucidação da segunda fase.

Nos diversos estudos realizados pelo modelo CAC, a empresa que lidera o ranking de competitividade (a que possui o maior valor do grau de competitividade) apresenta foco no seu campo da competição em torno de 0,90, e intensidade média das armas entre 3,8 e 4,0. Assim, vamos estabelecer esses valores como meta para a elucidação do problema de pesquisa. Para atender essa condição aplica-se a regra de verificação seguinte

Regras de verificação:

- Regra 1. Se resultar algum pilar com foco muito abaixo de 0,90, aumentar a intensidade de suas armas mais relevantes, consultando para isso a matriz de priorização de armas, uma após a outra, até que esses valores-meta sejam alcançados.

- Regra 2. Verificar, em seguida, o valor da intensidade média das armas. Se estiver abaixo de 3,8, retornar à Regra 1 aplicando-a agora sobre o foco de menor valor.

A intensidade média das armas reflete o nível da capacitação organizacional da empresa. A Regra de verificação 2 cuida, então, para que esse terceiro elemento da base seja também atendido, donde se obtém então a elucidação final para o problema de pesquisa

A Tabela 10 apresenta as armas adicionais que são relevantes ou semirrelevantes para Sustentabilidade ou Saúde e segurança, conforme a Regra 1 da elucidação da segunda fase, e sua classificação para ambos os elementos. Foram identificadas nove armas adicionais. Saúde e segurança aparecem com apenas uma arma semirrelevante porque possuem diversas armas relevantes ou semirrelevantes entre as 56 armas da competição originais.

Tabela 10 - Armas adicionais para Sustentabilidade e Saúde e segurança

Armas adicionais para Sustentabilidade e Saúde e segurança		Classificação quanto à relevância	
Número	Descrição	Sustentabilidade	Saúde e Segurança
57	Balanço social e relatório de sustentabilidade	2	1
58	Certificação por institutos	2	0
59	Concepção do produto	2	0
60	Ferramentas da qualidade do projeto	1	0
61	Projeto modular	2	0
62	Alinhamento das estratégias	1	0
63	Definição das estratégias competitivas operacionais	1	0
64	Gestão ambiental ou produção limpa	2	0
65	Programa permanente na redução de custos na área da produção	1	0
Legenda: Dígito 2 - Arma relevante; Dígito 1 - Arma semirrelevante; Dígito 0 - Arma irrelevante			

Fonte: O autor (2026).

Tabela 11 - Resultado da aplicação das regras para 2ª. fase da elucidação

ARMAS		Classificação das armas quanto à relevância								Soma dos dígitos	células com dígito 2	intensidade atual	Intensidade proposta		
													Sustentabilidade e Saúde e Segurança	1a. Fase	2a. Fase
Número	Ordem	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade	Sustentabilidade	Saúde e Segurança					Empresa NSK	
44	1	2	2	2	2	2	2	2	1	15	7	4	4	5	5
40	2	2	2	2	2	2	2	0	1	13	6	5	3	5	5
28	3	2	1	2	1	1	2	2	2	13	5	4	5	5	5
38	4	1	2	2	1	2	2	1	1	12	4	5	3	5	5
36	5	2	2	1	2	2	2	0	0	11	5	4		5	5
55	6	2	2	1	2	2	2	0	0	11	5	5		5	5
56	7	1	2	2	2	2	2	0	0	11	5	5		5	5
6	8	1	2	2	1	2	2	1	0	11	4	4	3	5	5
42	9	2	2	2	0	2	2	1	0	11	5	5	3	5	5
1	10	0	2	2	1	2	2	1	1	11	4	5	3	5	5
35	11	1	2	2	1	1	2	2	0	11	4	4	4	5	5
39	12	2	1	2	1	1	2	1	1	11	3	5	3	5	5
47	13	2	1	2	1	1	2	0	2	11	4	5	4	5	5
41	14	2	2	1	1	2	0	1	2	11	4	3	4	3	4
14	15	2	2	1	2	2	1	0	0	10	4	4		5	5
17	16	0	2	2	2	2	2	0	0	10	5	5		5	5
34	17	2	1	2	1	2	2	0	0	10	4	4		5	5
37	18	2	2	1	0	2	2	0	1	10	4	5	3	5	5
48	19	1	2	2	1	1	2	1	0	10	3	5	3	5	5
27	20	1	1	2	1	1	2	0	2	10	3	4	4	4	4
43	21	1	2	2	0	1	2	0	2	10	4	3	4	3	4
8	22	2	2	1	1	2	1	0	0	9	3	4		5	5
46	23	2	2	0	2	2	1	0	0	9	4	3		5	5
15	24	1	1	2	2	1	1	0	0	8	2	3		5	5
16	25	0	1	2	2	2	1	0	0	8	3	3		5	5
30	26	2	1	1	2	1	1	0	0	8	2	3		5	5
53	27	2	1	2	1	0	2	0	0	8	3	3		3	3
54	28	2	2	0	1	2	1	0	0	8	3	3		3	3
26	29	1	1	1	2	1	1	1	0	8	1	4	3	4	4
51	30	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	3	3	5	5
25	31	0	1	1	1	1	1	1	2	8	1	2	3	2	3
29	32	0	1	1	1	1	1	1	2	8	1	2	4	2	4
9	33	0	1	2	2	1	1	0	0	7	2	3		5	5

Legenda: Dígito 2 - Arma relevante; Dígito 1 - Arma semirrelevante; Dígito 0 - Arma irrelevante

Fonte: O autor (2026).

Tabela 11 - Resultado da aplicação das regras para 2ª. fase da elucidação (Continuação)

ARMAS		Classificação das armas quanto à relevância								Soma dos dígitos	células com dígito 2	intensidade atual	Intensidade proposta		
													Sustentabilidade e Saúde e Segurança	1a. Fase	2a. Fase
Número	Ordem	Disponibilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibildiade	Rapidez	Confiabildiade	Sustentabilidade	Saúde e Segurança					Empresa NSK	
7	34	0	1	0	2	2	1	0	1	7	2	4	3	5	5
20	35	2	0	2	0	0	2	1	0	7	3	4	3	4	4
31	36	1	1	1	2	1	0	1	0	7	1	3	3	5	5
2	37	0	1	1	1	0	0	2	2	7	2	1	5	1	5
18	38	1	0	2	2	0	1	0	0	6	2	3		4	4
19	39	0	1	1	2	1	1	0	0	6	1	4		4	4
50	40	1	2	1	0	1	1	0	0	6	1	3		3	3
52	41	2	1	0	1	2	0	0	0	6	2	3		3	3
22	42	1	0	1	1	1	1	0	1	6	0	2	3	2	3
49	43	2	0	0	2	1	0	1	0	6	2	2	3	1	3
23	44	1	0	1	2	0	0	1	1	6	1	2	3	4	4
45	45	1	1	1	0	0	1	0	2	6	1	2	4	2	4
10	46	0	1	1	1	1	1	0	0	5	0	2		2	2
32	47	1	0	0	2	2	0	0	0	5	2	2		1	1
33	48	1	0	0	2	2	0	0	0	5	2	2		1	1
12	49	0	0	1	1	0	1	1	1	5	0	1	3	1	3
5	50	0	1	1	0	0	1	1	0	4	0	2	3	2	3
13	51	0	0	1	0	0	0	1	2	4	1	1	4	1	4
3	52	0	1	1	0	0	1	0	0	3	0	2		2	2
21	53	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1		1	1
24	54	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	3	1	3
11	55	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	4	1	4
4	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1	1
57	57							2	1		1	1	4		4
58	58							2	0		1	1	4		4
59	59							2	0		1	1	4		4
60	60							1	0		0	3	3		3
61	61							2	0		1	2	4		4
62	62							1	0		0	4	3		3
63	63							1	0		0	5	3		3
64	64							2	0		1	1	4		4
65	65							1	0		0	5	3		3

Legenda: Dígito 2 - Arma relevante; Dígito 1 - Arma semirrelevante; Dígito 0 - Arma irrelevante

Fonte: O autor (2026).

A Tabela 11 apresenta a intensidade das armas resultante da aplicação das regras para a elucidação da segunda fase.

Seguem alguns exemplos da aplicação das regras de elucidação da segunda fase para a empresa NSK demonstrados na Tabela 11:

- Regra 3. Arma de ordem 37 (Número 2): intensidade passa de 1 para 5
- Regra 4. Arma de ordem 14 (número 41): intensidade passa de 3 para 4
- Regra 5. Arma de ordem 49 (número 12): intensidade passa de 1 para 3

A Tabela 12 apresenta os resultados de diversas variáveis que permitem a comparação entre a primeira, a segunda fase de solução e a situação atual da empresa NSK. Exibe também os efeitos da aplicação das Regras de verificação, discutidas a seguir, que levam à elucidação final.

Tabela 12 - Situação atual, soluções da primeira e segunda fase e elucidação final para NSK

Variáveis relativas aos pilares	Disponi-bilidade	Eficiência	Qualidade	Flexibi-lidade	Rapidez	Confiabi-lidade	Sustenta-bilidade	Saúde e Segurança
No. de armas relevantes	20	20	22	21	22	21	9	11
Foco atual	0,77	0,77	0,83	0,70	0,79	0,89	0,42	0,51
Foco (elucidação 1ª. NSK)	0,91	0,92	0,94	0,96	0,95	0,94		
Foco (elucidação 2ª. fase)	0,92	0,94	0,95	0,96	0,95	0,95	0,89	0,85
elucidação final	0,93	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95	0,89	0,89

Variáveis relativas à empresa	Intensidade média	Esforço	No. de armas relevantes-conjuntas	No. de armas a intensificar
Situação atual	3,1			
elucidação da 1ª. NSK	3,7	26	33	19
elucidação da 2ª. fase	4,1	67	49	33
elucidação final	4,1	69	49	36

Fonte: O autor (2026).

Para abordar a Sustentabilidade e a Saúde e Segurança foram adicionadas nove variáveis específicas e atribuído novos valores de intensidade para as 56 armas da competitividade. A evolução da primeira para a segunda fase de elucidação alterou consideravelmente a medida de esforço, o conjunto de armas relevantes-conjuntas e ao número de armas a intensificar. Essas variáveis estão relacionadas com o custo do investimento para contemplar a Sustentabilidade e a Saúde e Segurança no trabalho, alterando consideravelmente os valores dos seus focos em relação à elucidação de primeira fase. Porém, essa evolução praticamente não alterou os valores dos focos para os pilares.

A situação atual da empresa NSK em relação a esses dois elementos da base é bastante frágil, o que justifica a comparação feita no parágrafo anterior. Essa evolução ocasionou um

aumento de 41 unidades na medida do esforço. Analisando os resultados da Tabela 14 sob a ótica da Regra de verificação, vê-se que a intensidade média das armas atende à meta estabelecida, e que, enquanto o foco para Sustentabilidade atende a meta, aquele relativo à Saúde e segurança (0,85) está sensivelmente abaixo de 0,90.

Para corrigir isso, aplica-se a Regra de verificação 1 (aumentar a intensidade de suas armas mais relevantes para Saúde e segurança), obtendo a seguinte evolução da elucidação da segunda fase para a elucidação final:

a) Armas higiene e segurança do trabalho (ordem 49) e equipamentos adequados de movimentação de materiais (ordem 25) passam da intensidade 4 para 5.
b) As demais armas mantêm a intensidade da elucidação para a segunda fase

Esse movimento leva o foco em Saúde e segurança para 0,89, mantendo o valor da intensidade média das armas.

Portanto, a intensidade das armas para a elucidação final para o problema de pesquisa é aquela exibida na Tabela 11, com a modificação para as três armas relativas à Saúde e segurança.

Essa elucidação exige esforço e investimento consideráveis da empresa, muito por conta da sua situação da em relação à Sustentabilidade e Saúde e segurança, responsáveis por um forte aumento na medida de esforço (de 26 para 69). Mas ainda preserva a ideia se qualidade seletiva do modelo CAC, uma vez que a elucidação otimizante exigiria um esforço ainda maior (91) para sua implantação.

5.6 IMPLANTAÇÃO DO MODELO

Como já tratado anteriormente, a implantação do modelo se dá pela definição e execução de ações administrativas para levar a intensidade das armas ao valor definido na elucidação do problema. Isto gera um amplo plano de melhoria de armas que deve ser discutido com todo o corpo técnico da empresa e ser gerenciado por técnicas de gestão de projetos.

Nessa fase, muito provavelmente, a empresa não dispõe de recursos para abordar todas as armas que necessitam ser intensificadas concomitantemente. As colunas somam os dígitos e número de células com dígitos 2 oferecem a indicação para eleger a prioridade de armas a serem atacadas. Armas que tiverem os maiores valores para essas duas colunas devem ser priorizadas, pois abrangem um maior número de elementos do modelo e, portanto, oferecem um resultado global mais expressivo.

Na escolha de prioridades, pode-se considerar também a diferença entre a intensidade proposta e a atual. Quanto maior essa diferença, maior será a evolução dos valores dos focos e da intensidade média.

Pode-se também escolher armas relevantes para os pilares mais deficientes, Eficiência e Confiabilidade, no caso.

Dito isso, em reunião com o escalão gerencial da empresa NSK, decidiu-se abordar as seguintes armas nesse primeiro projeto de reestruturação da sua competência interna: Focados nos pilares (Eficiência e Confiabilidade) e base de sustentação (Sustentabilidade, Saúde e Segurança), demonstrados no Quadro 9.

- Com base na Tabela 11: Escolha da arma 35 para o pilar confiabilidade, pois tem relevância 2 e intensidade 4, necessitando intensidade 5 para NSK;
- Com base na Tabela 11: Escolha da arma 41 para o pilar eficiência, pois tem relevância 2 e intensidade 3, necessitando intensidade 4 para NSK;
- Com base na Tabela 11: Escolha da arma 57 para sustentabilidade, saúde e segurança, pois tem relevância 2 para sustentabilidade e relevância 1 para Saúde e segurança, com intensidade 1 atualmente, necessitando de intensidade 4 para NSK.

Quadro 9 - Ações administrativas para melhoria de intensidade (referência na Tabela 11)

Nº Arma	Nº Ordem	Nome da arma	Descrição CAC (intensidade plena)	Pilar ou base	Intensidade atual e desejada	Descrição do Conteúdo da arma para a intensidade futura	Ações administrativas para intensificar a arma
35	11	Aquisição de matéria-prima e componentes com qualidade	Sistema de planejamento e controle de insumos. Pode-se utilizar, por exemplo, o SCM - Supply Chain Management, envolvendo atividades de planejamento, recebimento, produção, entrega e devolução de insumos ao longo da cadeia de fornecedores.	Confiabilidade	Classificação: **Armas de Produção** Atual: 4 Proposta: 5	Sistema de planejamento e controle de insumos. SCM - Supply Chain Management, envolvendo atividades de planejamento, recebimento, produção, entrega e devolução de insumos ao longo da cadeia de fornecedores.	Implantar o SCM - Supply Chain Management envolvendo atividades de planejamento, recebimento **focado em qualidade ao longo da cadeia de fornecedores**.
41	14	Equipamentos adequados de movimentação de materiais	Inclui: equipamentos mecanizados e automatizados; manutenção adequada; paletes e contêineres; equipamentos de movimentação horizontal e vertical (empilhadeiras); prateleiras; padronização de equipamentos etc.	Eficiência	Classificação: **Armas de Produção** Atual: 3 Proposta: 4	Inclui equipamentos mecanizados e parcialmente automatizados, com manutenção realizada de forma programada; uso de paletes, contêineres, empilhadeiras e prateleiras, com certo nível de padronização dos equipamentos, porém com variações na aplicação e controle.	Implementar automação inteligente do fluxo interno com AGV (Automated Guided Vehicle) para **elevar padronização em movimentação de materiais.**
57	57	Balanço social e relatório de sustentabilidade	Elaboração e publicação de balanço social com indicadores sociais internos e externos relativos a: alimentação, saúde, educação, cultura, creches, segurança; com indicadores ambientais relativos ao meio ambiente; com indicadores funcionais: número de empregados, estagiários, admissões, demissões, empregados acima de 45 anos, de mulheres e negros, de mulheres e negros em cargo de chefia, de portadores de deficiência ou de necessidades especiais etc. Elaboração e publicação de relatório de sustentabilidade com indicadores ambientais.	Sustentabilidade Saúde e Segurança	Classificação: **Armas de Planejamento** Atual: 1 Proposta: 4	Elaboração e publicação de balanço social e relatório de sustentabilidade com indicadores sociais, ambientais e funcionais, contemplando aspectos como saúde, educação, segurança e quadro de colaboradores, porém com oportunidades de evolução na consistência dos dados e na abrangência das informações.	**Implantar um sistema ESG digital integrado** com indicadores operacionais (energia, resíduos, segurança e pessoas) com reporte estruturado padrão. Passar à medir indicadores sociais internos e externos relativos à sustentabilidade.

Fonte: O autor (2026).

O objetivo do trabalho não é solucionar o problema da empresa e sim construir o método que orienta essas ações administrativas, em sua 1ª fase demonstrando a melhoria dos pilares e na 2ª fase a base de sustentação. O Quadro 9, somente demonstra a escolha de algumas armas que fariam sentido para potencializar o resultado da empresa nos pilares deficientes e nas bases de sustentação do modelo proposto, dependendo do investimento disponível e recurso par acelerar sua implantação.

6 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo central responder à questão: Como conduzir os esforços de uma empresa industrial na busca da excelência operacional na manufatura?

Essa questão gerou o seguinte objetivo geral:

Propor um modelo para alcance de excelência operacional em linhas de manufatura e mostrar como implementá-lo.

Que foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um modelo composto por elementos que são a base e os pilares para o alcance da excelência operacional;
- Mostrar como implantar esse modelo de forma a obter resultados para seus elementos que conduzam à excelência operacional (definição da intensidade das armas);
- Ilustrar a viabilidade de sua aplicação em uma empresa específica.

O modelo proposto é composto por seis pilares considerados necessários para sustentar a excelência operacional em indústrias de transformação. Sua estrutura foi construída a partir dos cinco objetivos de desempenho da produção propostos por Slack *et al*. (2002), complementada pela análise dos referenciais OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), TPM (*Total Productive Maintenance*) e WCM (*World Class Manufacturing*). Nesse contexto, o objetivo custo foi desdobrado nos pilares Disponibilidade e Eficiência, de modo que, juntamente com o pilar Qualidade, fossem explicitados os três componentes fundamentais do OEE, interesse particular do autor.

Além dos pilares operacionais, o modelo contempla o tripé da sustentabilidade. A dimensão econômica é representada pelos pilares de Disponibilidade, Eficiência, Qualidade, Flexibilidade, Rapidez e Confiabilidade, enquanto as dimensões ambiental e social são sustentadas pelos elementos da base do modelo, compostos por Sustentabilidade, Saúde e Segurança e Capacitação Organizacional. Dessa forma, a excelência operacional é buscada de maneira economicamente viável, ambientalmente responsável e socialmente equilibrada.

A solução para a resposta da questão de pesquisa foi identificar as técnicas operacionais (armas da competição) necessárias para alavancar os resultados dos elementos do modelo e definir o nível de eficiência com que essas técnicas devem ser implantadas, observando o compromisso entre obtenção da excelência operacional.

Para isso, lançou-se mão do modelo de Campos e Armas da Competição (CAC), que pode ser entendido como um modelo de qualidade seletiva, uma vez que busca injetar recursos apenas naquelas armas estritamente necessárias para a garantir a excelência operacional do

sistema produtivo. A tese do modelo CAC garante que, ao se obter altos valores para os focos dos elementos do modelo, a empresa obterá bons resultados para os pilares. Essa afirmativa foi inclusive verificada no presente caso, o que valida o processo adotado para a elucidação do problema de pesquisa, baseado no modelo CAC

A implantação do modelo, na qual se busca obter alto desempenho dos seis pilares e consolidar o compromisso com a sustentabilidade e com a saúde e segurança do trabalhador, se dá por meio de um grande programa de melhorias de armas, que deve ser gerenciado com técnicas de gestão de projetos. No final da seção anterior foi mostrado como conseguir a melhoria de algumas armas por meio de ações administrativas.

Da elucidação de primeira fase, envolvendo apenas os pilares, resultou a necessidade de aumentar a intensidade de 19 armas, 1/3 do total de armas da competição da empresa, e uma medida de esforço igual a 26. Disto, surge a pergunta: há coerência entre esses números e o atual desempenho dos pilares para a NSK. Primeiramente, deve-se considerar que a elucidação proposta pelo modelo CAC (foco próximo a 0,90 para os Campos em que a empresa pretende competir, ou para os pilares, no presente caso) não visa diretamente atender às metas estabelecidas para os indicadores dos pilares, mas sim levar a empresa à liderança em todos os seis pilares do modelo de excelência operacional.

Estabelecendo um paralelo entre os pilares do modelo e os campos da competição, tem-se a configuração descrita no Quadro 10.

Quadro 10 - Pilares x Campos da competição

Pilares do modelo	Campos da competição
Eficiência e disponibilidade	Preço
Qualidade	Qualidade do produto
Flexibilidade	Diversidade de produtos
Rapidez e confiabilidade	Prazo de entrega do produto (dimensões velocidade e pontualidade)

Fonte: O autor (2026).

Assim, tornar uma empresa líder nos seis pilares implica em levar essa empresa à liderança, ou próximo disso, em cinco campos da competição, o que é um resultado extraordinário, considerando que na formulação da estratégia competitiva obtida por meio do modelo CAC busca-se levar a empresa a ser líder em apenas um ou dois campos (os da competição) e obter uma posição de destaque em mais outros um ou dois campos (os coadjuvantes). Deve-se considerar, também, que a empresa em questão não possui a excelência almejada nos pilares Eficiência e Confiabilidade.

Feitas essas considerações, parece correto afirmar que há, sim, coerência entre a elucidação gerada para o problema e o atual desempenho dos pilares para a NSK.

Ao se analisar a elucidação final para o problema de pesquisa, verifica-se, em comparação com a elucidação de primeira fase, um grande salto no número de armas a serem intensificadas (de 19 para 36), assim como na medida do esforço para implementar essa elucidação (de 26 para 69). Isso se deve praticamente à elucidação de segunda fase do modelo, dada a situação bastante deficiente com relação ao atual desempenho das armas relacionadas com Sustentabilidade e Saúde e segurança. O que parece justificar o esforço necessário para implementar a elucidação final para o problema de pesquisa.

É importante observar que, se a empresa em estudo servir de exemplo para a indústria do segmento, constata-se existir uma necessidade de preocupação desse tipo de negócio com alavancagem de ações para sustentabilidade e a qualidade de vida no trabalho. Isso é um indicativo da atual localização desse segmento nas fases de evolução do processo da competição.

Recorrendo às reflexões dos autores do modelo CAC, na fase inicial do processo competitivo, a competição se dá no campo preço. Quando já não há como se diferenciar em preço, as empresas passam a competir em qualidade. Na sequência desse processo vem a competição em projeto do produto, em atendimento e, quando já não há como extrair diferencial competitivo nesses campos, as empresas passam a adotar, normalmente como campo coadjuvante, o da responsabilidade social (nas suas vertentes preservacionista e cívico), que é o topo da hierarquia do processo competitivo.

Para que as empresas passem a adotar medidas de preservação do meio ambiente e de melhoria na qualidade de vida do trabalho, é necessário que a sociedade civil e o mercado consumidor passe a valorizar esses campos. E já se pode encontrar casos de empresas que buscam em suas peças publicitárias fixar sua imagem responsabilidade social.

Por fim, conclui-se que o alcance da excelência operacional depende da integração entre métricas de desempenho, práticas de gestão e direcionadores estratégicos. O modelo proposto consolida conceitos de OEE, TPM, WCM e CAC em uma estrutura sistêmica, permitindo identificar lacunas de desempenho e direcionar ações de melhoria de forma priorizada. Além de contribuir para a literatura e para a prática industrial, os resultados reforçam a robustez do modelo CAC, evidenciando que focos próximos de 0,90 estão associados a níveis superiores de desempenho, corroborando a tese de Contador (2009). Dessa forma, o estudo fortalece o modelo CAC como um modelo consistente, aplicável à excelência operacional e passível de utilização em diferentes segmentos industriais.

Como limitação, destaca-se que o estudo se restringe a um caso único, com pequena amostra de especialistas, e que, embora o modelo proposto possa ser aplicado a indústrias de manufatura em geral, sua implementação exige adaptações e exceções nas regras do modelo CAC conforme as particularidades de cada segmento e empresa.

Com extensão da presente pesquisa, sugere-se realizar um estudo mais aprofundado voltado à indústria 4.0 e 5.0, correlacionando o modelo com as novas premissas adotadas para o conhecimento e interação humana nas linhas de manufatura.

Também sugere-se efetuar este estudo com a aplicação do modelo em outros segmentos em outras indústrias para geração de diagnósticos que apontam para excelência operacional, com diversos tipos de negócio e linhas de produção.

REFERÊNCIAS

AFFAKI, O. E. L.; BENHADOU, M.; HADDOUT, A. Empirical study of the impact of Lean Management, the International Automotive Standard IATF 16949 and Industry 4.0 on operational excellence: key success factors and barriers. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, Chennai, v. 73, n. 4, p. 453-465, 2025. Disponível em: https://ijettjournal.org/. Acesso em: 11 set. 2026.

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**, Amsterdam, v. 35, p. 144–154, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/. Acesso em: 12 mar. 2026.

ANTONY, J.; SONY, M.; MCDERMOTT, O. Global perspectives on operational excellence: unveiling critical failure factors and sustainable pathways. **International Journal of Quality and Reliability Management**, Bingley, v. 41, n. 9, p. 2604-2626, 2024. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 18 jan. 2026.

ASPINWALL, E.; ELGHARIB, M. TPM implementation in large and medium size organisations. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, v. 24, n. 5, p. 688–710, 2013. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 10 nov. 2025.

BHASIN, S. Challenges UK manufacturing companies endure towards advanced operational excellence maturity. **Benchmarking: An International Journal**, Bingley, 2026. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 11 set. 2026.

CARVALHO, M. *et al*. Development of a conceptual model integrating management systems and the Shingo Model towards operational excellence. **Total Quality Management & Business Excellence**, London, v. 34, n. 3–4, p. 397–420, 2023. Disponível em: https://www.tandfonline.com/. Acesso em: 15 set. 2026.

CONTADOR, J. C.; CONTADOR, J. L.; SATYRO, W. C. CAC-Redes: a new and quali-quantitative model to increase the competitiveness of companies operating in business networks. **Benchmarking: An International Journal**, Bingley, v. 30, n. 10, p. 4313–4341, 2023. Disponível em: https://www.scopus.com/. Acesso em: 5 fev. 2026.

CONTADOR, J. C. Estrutura, variáveis matemáticas e validação do modelo de Campos e Armas da Competição. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 20–41, 2009. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/973/97317136004.pdf. Acesso em: 2 set. 2025.

CONTADOR, J. C. Conceitos sobre o modelo de Campos e Armas da Competição. **Revista de Ciências da Administração**, Florianópolis, v. 10, n. 21, p. 147–174, 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/. Acesso em: 15 jan. 2026.

CONTADOR, J. C. Campos e armas da competição. *In*: SIQUEIRA, J. P. L. de; BOAVENTURA, J. M. G. (org.). **Estratégia para corporações e empresas: teorias atuais e aplicações**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative and mixed methods approaches. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2014. Disponível em: https://us.sagepub.com/. Acesso em: 13 set. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2009. Disponível em: https://us.sagepub.com/. Acesso em: 13 set. 2026.

DACRE, N. *et al*. Advancing sustainable manufacturing: a systematic exploration of Industry 5.0 supply chains for sustainability, human-centricity, and resilience. **Production Planning & Control**, London, v. 36, n. 11, p. 1499-1528, 2025. Disponível em: https://www.tandfonline.com/. Acesso em: 15 set. 2026.

GARCIA, J.; MARTINEZ, P.; LOPEZ, A. World class manufacturing implementation in the fiberglass industry: a performance analysis of operational excellence. **International Journal of Production Management and Engineering**, Valencia, 2025. Disponível em: https://polipapers.upv.es/. Acesso em: 20 abr. 2026.

GAUSS, L.; NOAL, L. C.; LACERDA, D. P.; ÖHMAN, M.; ROMME, A. G. L. Designing for operational excellence: integrating lean production and theory of constraints in a greenfield setting. **Operations Management Research**, New York, v. 19, n. 1, 2026. Disponível em: https://link.springer.com/. Acesso em: 05 maio 2026.

HADDAD, T.; SHAHEEN, B. W.; NÉMETH, I. Improving overall equipment effectiveness (OEE) of extrusion machine using lean manufacturing approach. **Manufacturing Technology**, Ústí nad Labem, v. 21, p. 56–64, 2021. Disponível em: https://www.journalmt.com/. Acesso em: 14 fev. 2026.

HAMOUMI, M.; BENHADOU, M.; HADDOUT, A. A holistic modeling framework for operational excellence in the automotive industry: an integrated perspective on technical systems and human dynamics. **Engineering, Technology and Applied Science Research**, Volos, v. 15, n. 5, 2025. Disponível em: https://etasr.com/. Acesso em: 11 set. 2026.

HARIKANNAN, N.; VINODH, S.; ANTONY, J. Analysis of the relationship among Industry 4.0 technologies, sustainable manufacturing practices and organizational sustainable performance using structural equation modelling. **The TQM Journal**, Bingley, v. 37, n. 1, p. 42-72, 2025. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 11 set. 2026.

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. **Total Productive Maintenance (TPM)**. Disponível em: https://www.jipm.or.jp/. Acesso em: 15 abr. 2026.

LEAN MANUFACTURING ONLINE. **Automotive KPIs**: the complete guide to performance metrics. 2025. Disponível em: https://leanmanufacturing.online/automotive-kpis-the-complete-guide-to-performance-metrics/. Acesso em: 17 abr. 2026.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005. Disponível em: https://www.grupoa.com.br/. Acesso em: 12 set. 2026.

MARTUSEWICZ, J. *et al.* From organizational readiness to Industry 5.0: an EFQM model pathway to Net Zero. **Energies**, Basel, v. 18, n. 11, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/journal/energies. Acesso em: 11 set. 2026.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM**: total productive maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988.

NAKANO, D.; MUNIZ JÚNIOR, J. Writing the literature review for empirical papers. **Production**, São Paulo, v. 28, e20170086, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/prod. Acesso em: 21 set. 2026.

NSK. **NSK América Latina**. Disponível em: https://www.nsk.com/am-pt/. Acesso em: 27 maio 2026.

OLIVEIRA, V. F.; CAVENAGHI, V.; MÁSCULO, F. S. (org.). **Tópicos emergentes e desafios metodológicos em Engenharia de Produção: casos, experiências e proposições**: Volume II. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009.

PORTER, M. E. **Vantagem competitiva**: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1989. Disponível em: https://books.google.com/. Acesso em: 20 maio 2026.

RAHMAN, A.; MOHAMAD, E.; ABDUL, A. Enhancement of overall equipment effectiveness (OEE) data by using simulation as decision-making tools for line balancing. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, Yogyakarta, v. 18, n. 2, p. 1040–1047, 2020. Disponível em: https://ijeecs.iaescore.com/. Acesso em: 22 mar. 2026.

RAMASU, T. K.; KANAKANA-KATUMBA, M. G. Implementation of a lean manufacturing approach to improving productivity in SMEs: a case study in a cloth manufacturing company. **South African Journal of Industrial Engineering**, Pretoria, v. 36, n. 4, p. 73–87, 2025. Disponível em: https://www.scielo.org.za/. Acesso em: 8 abr. 2026.

SAHU, A. K. *et al.* Decision-making framework for supplier selection using an integrated MCDM approach in a lean-agile-resilient-green environment: evidence from Indian automotive sector. **The TQM Journal**, Bingley, v. 34, n. 6, p. 1761-1793, 2022. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 11 set. 2026.

SCHONBERGER, R. J. **World class manufacturing: the next decade**: building power, strength, and value. New York: The Free Press, 1996.

SHRIVASTAVA, A.; MISHRA, R. P. An investigation into the comprehensive effects of Lean Six Sigma and Industry 4.0 on creating a circular economy. **International Journal of Advanced Operations Management**, Geneva, v. 17, n. 1, p. 45-68, 2025. Disponível em: https://www.inderscience.com/. Acesso em: 13 set. 2026.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SINGH, R.; KUMAR, S.; SHARMA, R. A structural framework to achieve operational excellence by adopting sustainable Lean Six Sigma and Industry 4.0 technologies. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences**, Jaipur, v. 10, n. 3, p. 892-915, 2025. Disponível em: https://www.ijmems.in/. Acesso em: 11 maio 2026.

SINGH, S.; KHAN, A. Mapping the TQM implementation approaches and their impact on realizing leadership in Indian tyre manufacturing industry. **The TQM Journal**, Bingley, v. 36, n. 8, p. 2150-2172, 2024. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 25 jan. 2026.

SINGH, S. *et al*. Implementation of total productive maintenance approach: improving overall equipment effectiveness. **Inventions**, Basel, v. 7, n. 4, p. 1-14, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2411-5134/7/4/119. Acesso em: 10 fev. 2026.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SON, A. *et al*. Corporate AI Living Labs: a structured approach to accelerating AI adoption and transforming towards AI-empowered employees for operational excellence. **Journal of Innovation Management**, Porto, v. 12, n. 3, p. 1-25, 2024. Disponível em: https://journalsojs3.fe.up.pt/index.php/jim. Acesso em: 11 set. 2026.

SONY, M.; ANTONY, J. Integrating operational excellence strategies with Industry 4.0 technologies through reconfigurable manufacturing system practices. **The TQM Journal**, Bingley, v. 36, n. 8, p. 2291-2310, 2024. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 2 maio 2026.

THÜRER, M.; STEVENSON, M.; SILVA, C. Connecting engineering technology with enterprise systems for sustainable supply chain management. **Smart and Sustainable Manufacturing Systems**, West Conshohocken, v. 4, n. 2, p. 120-135, 2020. Disponível em: https://www.astm.org/. Acesso em: 14 abr. 2026.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; MACCARI, E. A. What does operational excellence mean in the Fourth Industrial Revolution era? **International Journal of Production Research**, London, v. 60, n. 9, p. 2901-2917, 2022. Disponível em: https://www.tandfonline.com/. Acesso em: 15 maio 2026.

TORTORELLA, G. L.; VERGARA, A. M.; GARZA-REYES, J. A. Industry 4.0 and world class manufacturing integration: 100 technologies for a WCM-I4.0 matrix. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 18, p. 6273, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/18/6273. Acesso em: 30 mar. 2026.

UPADHYAY, A. *et al*. A review of challenges and opportunities of blockchain adoption for operational excellence in the UK automotive industry. **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, Bingley, v. 13, n. 3, p. 281-304, 2020. Disponível em: https://www.emerald.com/. Acesso em: 15 set. 2026.

ZHANG, Y.; LI, X.; WANG, H. Achieving operational excellence: quality improvement in the automation assembly industry. **International Journal of Advanced Manufacturing**

Technology, London, v. 136, n. 5, p. 2415-2430, 2025. Disponível em: https://link.springer.com/. Acesso em: 9 maio 2026.

APÊNDICE A – LISTA DE 85 ARMAS VERSÃO 1 - MODELO CAC

Campos	Armas
Armas Administrativas	Capacitação de pessoal
	Comunidade colaborativa
	Contabilidade de custos
	Contabilidade estratégica
	Contabilidade gerencial (estratégica)
	Controle do desempenho operacional
	Desenvolvimento de softwares específicos para o negócio
	Disponibilidade de recursos financeiros
	Gestão do conhecimento (knowledge management)
	Liderança
	Motivação de pessoal
	Mudança na cultura da empresa
	Administração, recrutamento e seleção de pessoal
	Administração participativa
	Comportamento ético
	Estrutura organizacional e definição explícita da estrutura de poder na empresa
	Políticas de recursos humanos (Integração, retenção e demissão responsável)
	Processo de decisão gerencial e operacional
	Resiliência e responsividade
	Capacidade de implementação de mudanças (em todas as áreas)
	Qualidade de vida no trabalho
Armas de Atendimento	Disponibilidade de estoque
	Assistência técnica e distribuição de peças de reposição
	Capacidade de resolver incidentes críticos
	Consistência ou confiabilidade do atendimento
Armas de Cooperação	Compartilhamento de conhecimento
	Desenvolvimento de sistemas operacionais
	Desenvolvimento de tecnologia de processo
	Desenvolvimento de tecnologia de produto

Fonte: Modelo CAC armas selecionadas após *brainstorming* na NSK com equipe multifuncional, Contador, (2009).

APÊNDICE A – LISTA DE 85 ARMAS VERSÃO 1 - MODELO CAC (Continuação)

Campos	Armas
Armas de Planejamento	Balanço social e relatório de sustentabilidade
	Certificação por institutos
	Concepção do produto
	Ferramentas da qualidade do projeto
	Projeto modular
	Alinhamento das estratégias
	Definição das estratégias competitivas operacionais
	Análise da viabilidade produtiva e de uso
	Análise de falhas do produto
	Análise e Engenharia do Valor (AV/EV)
	Avaliação do impacto de novas tecnologias no sucesso da empresa
	Captação das tendências e monitoramento das novidades
	Controle (avaliação ou auditoria) da estratégica competitiva de negócio
	Controle das estratégias competitivas operacionais
	Engenharia Simultânea ou Engenharia Concomitante (Concurrent Engineering)
	Funcionalidade e segurança do produto
	Gestão de riscos efetivos e potenciais
	Identificação das oportunidades, ameaças e riscos
	Monitoramento do desenvolvimento tecnológico
	Política de incentivo à inovação e renovação
	Benchmarking externo
	Capacidade de entender o cliente
	Entendimento do negócio, análise da concorrência e monitoramento dos concorrentes
	Formulação e implementação da estratégia competitiva de negócio e operacional
	Garantia do produto
	Identificação dos requisitos do cliente (Design Thinking)
	Liderança da alta administração
Armas de Produção	Gestão ambiental ou produção limpa
	Programa permanente na redução de custos na área da produção
	Agilidade para reprogramar a produção
	Agilidade para trocar de produto
	Análise de indicadores do nível de serviço
	Aquisição de matéria-prima e componentes com qualidade
	Redução de setup, produção puxada e célula de manufatura
	Controle da eficiência do trabalho
	Controle do processo
	Controle e melhoria da qualidade
	Engenharia de processo
	Equipamentos adequados de movimentação de materiais
	Gestão da manutenção de equipamentos
	Estudo do trabalho
	Gestão de fornecedores
	Higiene e segurança do trabalho
	Just in time (Produção puxada)
	Manual de instrução e procedimento
	Melhoramento contínuo no processo produtivo
	Produção (ou manufatura) customizada
	Programa permanente de aumento da produtividade na área de produção
	Proteção estratégica da produção
	Rapidez de produção
	Rastreabilidade
	Redução dos tempos inativos
	Sistema de Planejamento e Controle da Produção
	Tecnologia adequada ao processo produtivo
	Armazenamento
	Seleção de fornecedores

Fonte: Modelo CAC armas selecionadas após *brainstorming* na NSK com equipe multifuncional, Contador, (2009).

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	EDGAR JUNIOR ALVES DE ARAUJO - 30/05/1997
Nacionalidade	Brasileira
Nome em citações bibliográficas:	Araujo, Edgar Junior Araujo, E.
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/2952956401801129
ORCID	https://orcid.org/0009-0002-0113-7386
outro identificador	Edgar Araujo | LinkedIn
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
Dezembro/2019	Graduação em engenharia mecânica, UMC – Universidade de Mogi das Cruzes
Dezembro/2023	MBA em gestão de pessoas, FGV – Fundação Getúlio Vargas
Dezembro/2021	Especialização em gestão de processos, MACKENZIE – Universidade Presbiteriana Mackenzie
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	
PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES	
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS	
SAE 2024 – CÓDIGO: 2024-36-016 **SAE 2025 – CÓDIGO: 2025-36-008**	