



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

ANÁLISE DA MATURIDADE DA DIMENSÃO “CADEIA DE SUPRIMENTOS” DE UMA EMPRESA DO SETOR TERMOPLÁSTICO NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Gabriel Silva Gomes

Universidade do Estado do Amazonas
gsg.pds24@uea.edu.br

Raiana Ruiz Farias da Silva

Universidade do Estado do Amazonas
rrfds.pds24@uea.edu.br

Ronaldo Diones Ruiz Farias

Universidade do Estado do Amazonas
rdrf.pds24@uea.edu.br

Aline Santarém Ramos

Universidade do Estado do Amazonas
asr.pds24@uea.edu.br

Sandro Breval Santiago

Universidade Federal de Santa Catarina
sbreval@ufam.edu.br

Resumo: A Indústria 4.0 é uma evolução significativa na manufatura, baseada na integração de tecnologias digitais com processos físicos para criar sistemas de produção mais inteligentes e conectados. Seus principais componentes incluem Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial, automação avançada, que visam melhorar a eficiência, flexibilidade e qualidade da produção. O Polo Industrial de Manaus (PIM) é uma zona franca que promove a industrialização da região Norte do Brasil através de incentivos fiscais e infraestrutura robusta. Ele tem sido crucial para diversificar a economia local e reduzir desigualdades regionais, contribuindo significativamente para o PIB e geração de empregos. O Polo tem demonstrado capacidade de adaptação e inovação, essencial para sua competitividade no mercado global. O Modelo Integrado de Maturidade de Processos 4.0 (PIMM4.0) é um framework para avaliar e promover a maturidade digital das organizações, focando em áreas como estratégia, processos, tecnologia e competências. Possibilitando identificar lacunas e otimizar práticas para alinhamento com a Indústria 4.0. Para esta análise utilizaremos o software de análise de dados estatísticos JASP. A análise dos dados sugere que as subdimensões são inteiramente correlacionadas e cada uma pode estar afetando diretamente as outras. Alguns dos dados nos apresentam que a falta de integração entre algumas subdimensões como, por exemplo, o Estoque e Visibilidade da Cadeia de Suprimentos pode ser uma restrição importante. Este resultado também aponta para a natureza logística de alta complexidade da operação da empresa, especialmente em uma região como a ZFM.

Palavras-chave: PIMM 4.0; Indústria 4.0; JASP; Maturidade; Cadeia de Suprimentos.

ANALYSIS OF THE MATURITY OF THE “SUPPLY CHAIN” DIMENSION OF A COMPANY IN THE THERMOPLASTICS SECTOR IN THE INDUSTRIAL HUB OF MANAUS

Abstract: Industry 4.0 is a significant evolution in manufacturing, based on the integration of digital technologies with physical processes to create more intelligent and connected production systems. Its main components include the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence and advanced automation, which aim to improve the efficiency, flexibility and quality of production. The Manaus Industrial Estate (PIM) is a free trade zone that promotes the industrialization of the northern region of Brazil through tax incentives and robust infrastructure. It has been crucial in diversifying the local economy and reducing regional inequalities, contributing significantly to GDP and job creation. The Hub has demonstrated its ability to adapt and innovate, which is essential for its competitiveness in the global market. The Integrated Process Maturity Model 4.0 (PIMM4.0) is a framework for assessing and promoting the digital maturity of organizations, focusing on areas such as strategy, processes, technology and skills. It makes it possible to identify gaps and optimize practices to align with Industry 4.0. For this analysis we will use the JASP statistical data analysis software. The data analysis suggests that the sub-dimensions are entirely correlated and that each one may be directly affecting the others. Some of the data shows that the lack of integration between some sub-dimensions, such as Inventory and Supply Chain Visibility, can be a major constraint. This result also points to the highly complex logistical nature of the company's operations, especially in a region like the ZFM.

Keywords: PIMM 4.0; Industry 4.0; JASP; Maturity; Supply Chain.

1. Introdução

A indústria 4.0 é também conhecida como a Quarta Revolução Industrial e baseia-se principalmente na integração avançada de tecnologias digitais com o mundo físico para criação de sistemas de manufatura avançada, resultando em fábricas mais inteligentes e conectadas, contribuindo para a gestão e controles cada vez mais precisos e eficazes.

Um aspecto crucial da Indústria 4.0 é a integração da cadeia de suprimentos. A Logística 4.0 refere-se à integração de tecnologias avançadas nas operações industriais e busca aplicar tecnologias digitais e inovações em toda a cadeia de suprimentos, desde a produção até a entrega final (Cabral, 2023).

Dentre os principais sistemas utilizados na indústria 4.0 estão os seguintes:

Tabela 1. Sistemas da Indústria 4.0

Sistema	Descrição	Benefícios
Internet das Coisas (IoT)	Sensores e dispositivos conectados que trocam dados em tempo real.	Monitoramento contínuo, controle de processos, otimização da produção.
Big Data e Análise de Dados	Coleta e análise de grandes volumes de dados.	Otimização da produção, previsão de falhas, tomada de decisões mais precisas.
Inteligência Artificial e Machine Learning	Algoritmos que permitem às máquinas aprenderem e tomarem decisões.	Automação de processos, otimização de recursos, desenvolvimento de novos produtos.
Automação Avançada e Robótica	Robôs e sistemas automatizados para execução de tarefas repetitivas.	Aumento da produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade.
Sistemas Cyber Físicos (CPS)	Integração de sistemas com processos físicos.	Interação em tempo real entre mundo digital e físico, otimização de processos.
Realidade Aumentada e Virtual	Tecnologia para simulações e treinamentos.	Otimização de processos, redução de custos com treinamento, melhoria da experiência do usuário.

Impressão 3D	Criação de peças e produtos personalizados.	Maior flexibilidade, menor desperdício, personalização de produtos.
Computação em nuvem	Acesso remoto e colaboração em tempo real.	Escalabilidade, redução de custos com infraestrutura, acesso a dados de qualquer lugar.
Segurança Cibernética	Proteção contra ameaças digitais.	Integridade e segurança dos sistemas e dados industriais.
Digital Twin	Modelo digital que simula o comportamento de sistemas físicos.	Otimização de processos, redução de custos com testes, desenvolvimento de novos produtos.
Manutenção Preditiva	Utilização de dados para prever falhas.	Minimização de tempos de inatividade, redução de custos com manutenção.

Fonte: elaborado pelos autores, adaptado de Azevedo & Santiago (2019).

O Polo Industrial de Manaus (PIM), criado em 1967, é uma zona franca que impulsiona o desenvolvimento econômico e industrial no Brasil. Localizado em Manaus, Amazonas, o PIM tem como objetivo promover a industrialização da região Norte e atrair investimentos para uma economia que anteriormente se concentrava no extrativismo e na agricultura.

Para que uma empresa tenha sucesso em seu processo de inovação tecnológica, é essencial que ela se integre a um sistema de inovação, seja ele nacional, regional ou local (Olimpio et al., 2022; Albuquerque, 2001, p. 57). O PIM oferece incentivos fiscais, como isenção de IPI e redução de impostos estaduais e municipais, tornando o ambiente de negócios atraente para investidores. Com uma infraestrutura moderna, que inclui parques industriais, rodovias, portos e um aeroporto internacional, o PIM é crucial para o PIB do Amazonas, gerando empregos e impulsionando a economia local, além de contribuir para a redução das desigualdades regionais e o desenvolvimento profissional.

De acordo com a Superintendência da Zona Franca de Manaus (2024), o Polo Industrial de Manaus abriga aproximadamente 500 indústrias de alta tecnologia, que geram mais de 500 mil empregos diretos e indiretos, principalmente nos segmentos eletroeletrônico, de bens de informática e de duas rodas.

A maturidade de um polo industrial depende significativamente do desenvolvimento de suas operações e da qualidade de sua infraestrutura. O Polo Industrial de Manaus exemplifica como o investimento em boas instalações e processos modernos pode fortalecer um centro industrial e garantir sua longevidade. O PIM demonstra sua maturidade por meio de uma infraestrutura avançada, com parques industriais bem equipados, transporte eficiente e logística sofisticada. Além disso, o polo evoluiu de um centro de montagem para incluir indústrias de alta tecnologia, permitindo que ele concorra em nível global.

O equilíbrio entre a experiência acumulada e a capacidade de adaptação rápida a novas situações faz do PIM um polo industrial estratégico. Essa combinação assegura que o polo seja eficiente e capaz de enfrentar os desafios do mercado. Para manter esse sucesso, é fundamental continuar investindo em inovação e tecnologias, além de desenvolver estratégias para antecipar e responder às mudanças do cenário econômico.

O sistema PMM 4.0 é um modelo de gestão de processos projetado para ajudar instituições a implementar práticas modernas e eficazes, utilizando uma abordagem estruturada para mapear, analisar e aprimorar os processos (Azevedo & Santiago, 2019; Santiago & De Souza Junior, 2022; Itikawa & Santiago, 2022). A sigla significa “Modelo de Maturidade em Processos de Gestão”, e a versão 4.0 refere-se a uma atualização do modelo. O sistema visa otimizar e melhorar a eficiência dos processos organizacionais por meio da padronização, monitoramento e avaliação contínua.

Com base na avaliação inicial, o sistema propõe a padronização dos processos e a implementação de melhorias, criando procedimentos e normas para garantir consistência e qualidade. O PMM 4.0 prevê a revisão contínua dos processos e ajustes, quando necessário, garantindo que eles evoluam e se adaptem às mudanças nas necessidades e no ambiente. A implementação do sistema envolve desde a capacitação dos colaboradores até o engajamento das partes interessadas, para assegurar que todos estejam alinhados com os objetivos e práticas do modelo.

Em suma, qualquer organização que busque melhorar sua eficiência, padronizar processos e garantir um gerenciamento mais eficaz pode se beneficiar da aplicação do sistema PMM 4.0.

2. Materiais e Métodos

Para este trabalho em questão, foi conduzida um estudo de caso, visto que esse método tem como objetivo descrever e examinar de maneira mais minuciosa uma situação específica, de maneira bastante detalhada (Pereira et al., 2018).

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa e descritiva para avaliar a maturidade da cadeia de suprimentos. O estudo é baseado em dados coletados por meio de questionários e análise estatística. O desenho da pesquisa inclui a definição da amostra, desenvolvimento do instrumento de coleta, procedimentos para coleta de dados e análise dos dados (Lakatos & Marconi, 2021).

A metodologia empregada foi utilizada para avaliar a maturidade da cadeia de suprimentos de uma empresa, considerando suas cinco subdimensões: Estoque em Tempo Real, Integração da Cadeia de Suprimentos, Visibilidade da Cadeia de Suprimentos, Agilidade da Cadeia de Suprimentos e Lead Times. O objetivo é detalhar o processo de coleta e análise de dados, bem como os métodos estatísticos utilizados para interpretar os resultados obtidos. (Azevedo & Santiago, 2019).

Nesta pesquisa foi direcionado e respondido por 18 colaboradores que representam diferentes funções dentro da cadeia de suprimentos, em especial, do corpo diretivo e gerencial, sendo estes responsáveis por um base de 50 a 100 colaboradores sob sua responsabilidade. A seleção foi feita para garantir uma representação abrangente dos diferentes aspectos da cadeia.

O questionário abordou: Estoque em Tempo Real: Avaliação da eficiência dos sistemas de gestão de inventário e da precisão das informações em tempo real; Integração SCM: Grau de integração entre os elos da cadeia de suprimentos; Visibilidade SCM: Nível de clareza e transparência das informações ao longo da cadeia de suprimentos; Agilidade SCM: Flexibilidade e capacidade de resposta da cadeia de suprimentos; Lead Times: Tempo total necessário para a fabricação e entrega dos produtos (Azevedo & Santiago, 2019).

As respostas foram compiladas para calcular a média das notas atribuídas a cada subdimensão. Utilizou-se o software JASP para realizar análises de correlação entre as subdimensões. Para Silva (2023) a análise de correlação foi empregada para determinar a intensidade e a direção das relações entre as variáveis, proporcionando uma visão sobre como as diferentes subdimensões interagem entre si. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi utilizado para quantificar a relação entre as subdimensões, permitindo a identificação de padrões e interdependências.

Os resultados foram interpretados com base nas médias calculadas e nas correlações identificadas. A análise visa identificar áreas de fraqueza e oportunidades de melhoria dentro da cadeia de suprimentos. As relações entre as subdimensões foram examinadas para oferecer recomendações práticas que podem melhorar a eficiência geral da cadeia de suprimentos.

3. Referencial Teórico

3.1. A Indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, representa uma transformação profunda na forma como as indústrias operam e se desenvolvem. Iniciada no início do século XXI, essa revolução é caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas nas operações de manufatura e produção, promovendo um novo nível de automação e conectividade.

De acordo com Oliveira e Santiago (2024) a Indústria 4.0 busca transformar a forma como as empresas operam e produzem, oferecendo maior eficiência, flexibilidade e personalização. A adoção da Indústria 4.0 transforma a manufatura de diversas maneiras, proporcionando benefícios significativos e enfrentando desafios cruciais.

A manufatura avançada possibilitada pela Indústria 4.0 permite que as fábricas se adaptem rapidamente às mudanças nas demandas do mercado e às novas necessidades dos clientes. Pereira e Simonetto (2018) enfatizam que sistemas inteligentes e interconectados permitem ajustes dinâmicos e personalização em massa, respondendo de maneira ágil às variações na demanda.

A Indústria 4.0 representa uma mudança paradigmática na manufatura, trazendo uma série de avanços tecnológicos que transformam a produção em um ambiente mais inteligente e eficiente. Sua importância para a manufatura avançada é evidenciada pelos ganhos em eficiência, flexibilidade, qualidade e personalização.

3.2. O Polo Industrial de Manaus (PIM)

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos maiores e mais significativos centros de desenvolvimento econômico da região Norte do Brasil. Localizado na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, o polo foi criado em 1967 com o objetivo de promover a industrialização da região e reduzir a dependência econômica da Zona Franca, que era predominantemente caracterizada pela exploração de recursos naturais e atividades comerciais (Ribeiro & Santiago, 2024).

O PIM opera como uma área de livre comércio, beneficiando-se de incentivos fiscais e tributários oferecidos pelo governo federal. Esses incentivos, que incluem a isenção de impostos federais e estaduais, têm sido cruciais para atrair uma ampla gama de empresas de diversos setores, como eletrônicos, bens de consumo e indústria química (Lima & Oliveira, 2021). A isenção de impostos sobre a produção e comercialização facilita a instalação e operação de fábricas e empresas na região, fortalecendo a infraestrutura industrial de Manaus.

O impacto econômico do PIM é expressivo. Segundo Ribeiro e Santiago (2024), o polo gerou milhares de empregos e desempenhou um papel vital no desenvolvimento de uma infraestrutura industrial robusta. A instalação de grandes empresas contribuiu significativamente para a diversificação da economia local, anteriormente dependente da exploração de recursos naturais e do setor de serviços. Além disso, o PIM é fundamental para o desenvolvimento tecnológico do Brasil, com várias empresas investindo em pesquisa e inovação, embora a expansão rápida tenha trazido desafios relacionados a questões ambientais e à necessidade de melhorar a infraestrutura urbana (Lima & Oliveira, 2021).

3.3. Maturidade e Prontidão no PIM

A maturidade do Polo Industrial de Manaus (PIM) é um tema amplamente discutido na literatura acadêmica, refletindo o avanço e o desenvolvimento deste importante centro industrial da região Norte do Brasil. Segundo Costa et al. (2019) o polo passou por diferentes fases de crescimento e adaptação, com uma maturidade crescente refletida na diversificação e na sofisticação de suas atividades econômicas. Essa maturidade é

evidenciada pela capacidade do PIM de atrair investimentos significativos e pela ampliação de sua base industrial, que agora inclui setores como eletrônicos, químicos e automobilísticos (Costa et al., 2019).

Silva e Santos (2022) analisam a evolução da força de trabalho no polo industrial, destacando que a maturidade do PIM é acompanhada por um aumento na qualificação profissional e na complexidade das funções desempenhadas pelos trabalhadores.

A maturidade do PIM é um processo multifacetado que envolve a evolução histórica do polo industrial, os desafios contemporâneos de inovação e sustentabilidade, e as transformações no mercado de trabalho. Pode-se observar que enquanto o PIM continua a expandir e diversificar suas atividades, ele também enfrenta desafios significativos que devem ser abordados para garantir sua continuidade e sucesso no futuro.

3.4. Dimensão e Variáveis (O Sistema PIMM4.0)

O Modelo Integrado de Maturidade de Processos 4.0 (PIMM4.0) é uma abordagem avançada para avaliar e promover a maturidade das organizações em relação à transformação digital e à Indústria 4.0. Desenvolvido para ajudar as empresas a entenderem e gerenciar seu progresso na adoção de tecnologias digitais e práticas inovadoras, o PIMM4.0 é uma evolução dos modelos anteriores, refletindo as necessidades e desafios da era digital (Azevedo & Santiago, 2019).

O PIMM4.0 se distingue por sua abordagem abrangente e multidimensional para avaliar a maturidade organizacional. As principais dimensões do modelo incluem:

Estratégia e Governança: Foca na definição e na gestão de estratégias digitais e na governança dos processos. Avalia como a organização alinha seus objetivos estratégicos com a transformação digital e como gerencia os recursos e a liderança necessários para essa mudança.

Processos: Analisa a formalização, padronização e eficiência dos processos internos, bem como sua capacidade de adaptação às novas tecnologias e métodos. Esta dimensão é crucial para garantir que os processos estejam alinhados com as melhores práticas da Indústria 4.0.

Tecnologia e Infraestrutura: Avalia o uso de tecnologias digitais e a adequação da infraestrutura de TI para suportar a transformação digital. Inclui a análise de sistemas de automação, IoT, e outras tecnologias avançadas.

Informação e Dados: Examina a capacidade da organização de coletar, processar e analisar dados para apoiar a tomada de decisões e otimizar operações. Essa dimensão é vital para o sucesso da Indústria 4.0, onde a análise de dados desempenha um papel central.

Pessoas e Competências: Avalia o desenvolvimento das competências dos colaboradores e a gestão do conhecimento. Envolve a capacitação dos funcionários para operar novas tecnologias e a adaptação cultural à transformação digital.

Cultura e Mudança: Examina a capacidade da organização de gerenciar mudanças e fomentar uma cultura que apoie a inovação e a digitalização. A gestão da mudança é crucial para a integração bem-sucedida das tecnologias da Indústria 4.0.

Pesquisas recentes demonstram que a aplicação do PIMM4.0 tem proporcionado benefícios significativos para as organizações ao oferecer uma visão clara de sua maturidade digital e áreas para melhorias. Estudos de caso indicam que o modelo ajuda as empresas a identificarem lacunas em suas estratégias digitais, otimizar processos e melhorar a integração de tecnologias.

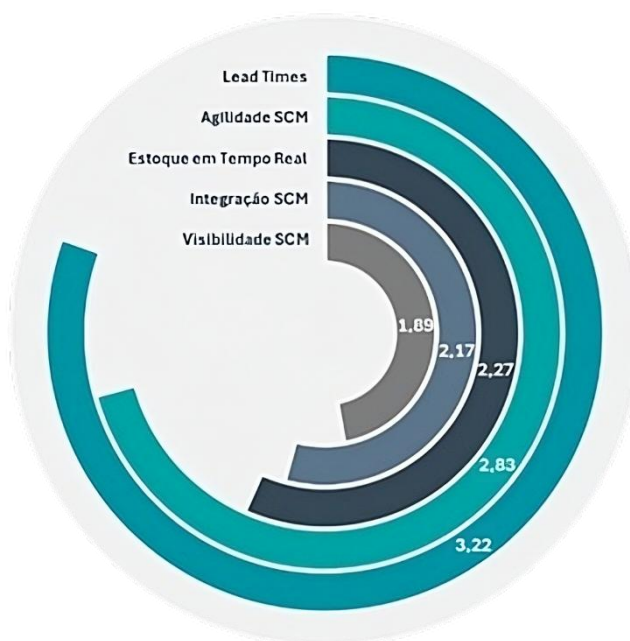
Avaliar a maturidade organizacional com o PIMM4.0 permite que as empresas priorizem investimentos em tecnologia, ajustem suas abordagens de transformação digital e maximizem o retorno sobre investimento em inovação (Ribeiro & Santiago, 2024).

O PIMM4.0 oferece uma estrutura robusta e detalhada para avaliar e promover a maturidade organizacional em um contexto de transformação digital. Ao integrar múltiplas dimensões críticas para a Indústria 4.0, o modelo proporciona uma base sólida para a implementação de tecnologias e práticas inovadoras. A aplicação contínua e a adaptação do PIMM4.0 são essenciais para garantir que as organizações possam navegar com sucesso pelas mudanças e aproveitar as oportunidades da era digital.

4. Resultados

Os resultados apresentados abaixo mostram a leitura da maturidade dentro da dimensão Cadeia de Suprimentos e suas 5 subdimensões através da média das notas dadas por 18 colaboradores desta empresa.

Figura 1. Média da dimensão “Cadeia de Suprimentos”



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

A primeira subdimensão Estoque em Tempo Real, aponta para a gestão de dados em tempo real relacionados com o controle de inventário e a sua utilização para melhorar a gestão e processos como a interoperabilidade logística. A sua média registrada foi de 2,27 e por isto, entende-se que a empresa deve procurar melhorar o seu sistema de gestão de estoque. Por exemplo, poderia investir em software para acompanhar e registrar todas as informações em tempo real, garantindo um controle mais preciso.

A segunda subdimensão chamada de Integração da Cadeia de Suprimentos ou Integração SCM, identifica até que ponto a cadeia de suprimentos está plenamente conectada, tendo em vista os canais existentes entre seus elos. A pontuação média foi de 2,17. Um ponto interessante para destacar seria a possibilidade de formar e desenvolver fornecedores locais na Zona Franca de Manaus, dando-lhes direcionamento, investimentos financeiros e suporte técnico. Isto consolidaria a base de fornecedores e aumentaria a confiança e a qualidade dos fornecimentos, conduzindo a uma melhor integração da cadeia de suprimentos.

A terceira subdimensão, Visibilidade da Cadeia de Suprimentos ou Visibilidade SCM, mostra o grau de visibilidade da cadeia de suprimentos de ponta a ponta. Isso ajuda a verificar se a logística funciona bem em conjunto e se possui a chamada interoperabilidade. A pontuação média obtida foi de 1,89, sendo a pior média de todas as análises realizadas. Na Zona Franca de Manaus, por toda sua peculiaridade da malha logística complexa, obter matérias-primas e enviar produtos se torna um desafio para todas as empresas locais.

A quarta subdimensão Agilidade da Cadeia de Suprimentos ou Agilidade SCM, mostra o grau de agilidade da cadeia de suprimentos com base em seus vínculos com fatores externos (ecossistema de negócios). A pontuação média foi de 2,83. Para melhorar esse aspecto, as empresas precisam diversificar seus fornecedores e transportadores. Isso ajuda a reduzir a dependência excessiva, diminuir o risco de problemas na cadeia de suprimentos e acelera a obtenção ou o envio de mercadorias. Isso pode significar a busca de fornecedores e remetentes nas proximidades e no exterior.

A quinta subdimensão é o Lead Times, que reflete o tempo de entrega da organização, considerando ciclo de fabricação, tempo de atravessamento e redução de “aging”. A média obtida foi de 3,22, ultrapassando, portanto, do Nível 3 – Transição. Nesta variável os processos produtivos precisam estar rigorosamente controlados, monitoramento constantemente os indicadores de desempenho logístico, visando melhoria contínua e inovações que possam ajudar a reduzir o lead time. Ainda que esta seja a sua melhor subdimensão há sempre aspectos a serem desenvolvidos ou aperfeiçoados.

As subdimensões Estoque em Tempo Real e Visibilidade SCM tem uma conexão direta. O gerenciamento de estoque em tempo real permite uma melhor visibilidade da cadeia de suprimentos, o que ajuda a identificar possíveis gargalos e a tomar decisões mais inteligentes. A Agilidade SCM está ligada à Integração SCM. Uma cadeia de suprimentos ágil precisa de integração eficiente e trabalho em equipe entre todos os participantes.

Podemos ver que todas as subdimensões se conectam e afetam umas às outras. Isso mostra porque é tão importante gerenciar toda a cadeia de suprimentos de forma integrada e eficiente. A empresa deve trabalhar para melhorar essas áreas a fim de garantir uma cadeia de suprimentos eficiente, ágil e capaz de se adaptar às demandas do mercado.

Para esta análise também utilizaremos o software de análise de dados estatísticos JASP, gratuito e de código aberto que foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores da Universidade de Amsterdã na Holanda. Dentre as opções disponíveis para análise optamos por utilizar a correlação é uma técnica estatística que pode ser usada para determinar se, e com que intensidade, pares de variáveis estão associados.

De acordo com Silva (2023) a correlação busca compreender como uma variável se comporta em um cenário onde outra está variando, visando identificar se existe alguma relação entre a variabilidade de ambas. Embora não implique em causalidade, o coeficiente de correlação exprime em números essa relação, ou seja, quantifica a relação entre as variáveis.

Neste banco de dados, vamos solicitar correlações de Pearson considerando a hipótese de que as variáveis estão correlacionadas, a avaliação da significância estatística, a representação do mapa de calor e os testes de normalidade multivariada e univariada de Shapiro-Wilk.

Dos resultados obtidos e extraídos no software JASP primeiramente verificamos os testes de normalidade para averiguar a normalidade dos dados, pressuposto do tipo de análise escolhido. O teste de normalidade multivariada de Shapiro-Wilk indicou desvio de normalidade com significância abaixo de 0,05 (0,92; $p = 0,030$), contudo como as correlações são calculadas par a par, este não é o teste mais adequado.

A tabela abaixo apresenta o teste de Shapiro-Wilk para cada par de variáveis, na qual podemos verificar que apenas os pares de variáveis integração-visibilidade, integração-agilidade, visibilidade-agilidade e lead times-agilidade apresentaram normalidade bivariada. Dessa forma, os outros pares precisariam ser transformados para garantir a normalidade necessária para a análise.

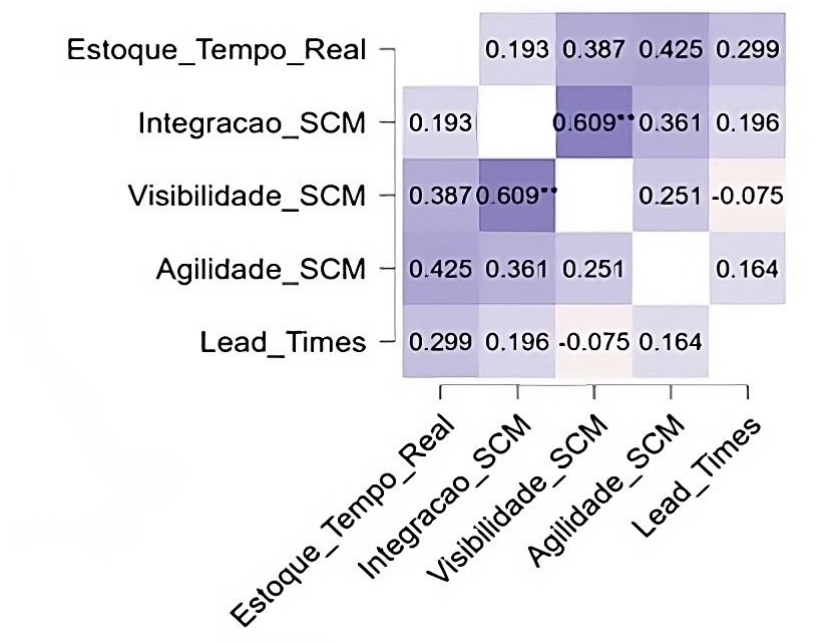
Tabela 2. Teste de Shapiro-Wilk para normalidade bivariada

Variável	Shapiro-Wilk	P
Estoque Tempo Real – Integração SCM	0.723	< .001
Estoque Tempo Real – Visibilidade SCM	0.776	< .001
Estoque Tempo Real – Agilidade SCM	0.845	< .001
Estoque Tempo Real – Lead Times	0.764	< .001
Integração SCM – Visibilidade SCM	0.887	0.010
Integração SCM – Agilidade SCM	0.920	0.083
Integração SCM – Lead Times	0.841	< .001
Visibilidade SCM – Agilidade SCM	0.906	0.033
Visibilidade SCM – Lead Times	0.820	< .001
Agilidade SCM – Lead Times	0.876	0.005

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

As demais discussões referem-se a matriz de correlações e sua versão no mapa de calor. Os quais estão apresentados abaixo. A matriz de correlações apontou para associações positivas e significativas entre as variáveis Integração da Cadeia de Suprimentos e Visibilidade da Cadeia de Suprimentos ($r = 0,609$; $p < 0,001$), Estoque em Tempo Real e Agilidade da Cadeia de Suprimentos ($r = 0,425$; $p < 0,001$).

Figura 2. Mapa de Calor - r de Person



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Dentre as relações consideradas moderadas obtivemos Visibilidade e Estoque em Tempo Real ($r = 0,387$; $p < 0,001$), Agilidade e Integração da Cadeia de Suprimentos ($r = 0,361$; $p < 0,001$), Estoque em Tempo Real e Lead Times ($r = 0,299$; $p < 0,001$).

Também foram identificadas correlações consideradas fracas, e apenas uma correlação negativa, o que significa que um é inversamente proporcional a outra, entre Visibilidade da Cadeia de Suprimentos e Lead Times ($r = 0,075$; $p < 0,001$).

5. Conclusões

A análise dos dados sugere que as subdimensões são inteiramente correlacionadas e cada uma pode estar afetando diretamente as outras. Enquanto, a subdimensão Estoque em Tempo Real tinha a média de 2,27, o que se pode considerar como oportunidade crítica para melhorias que impliquem no investimento nos sistemas de gestão de inventário que fornecem visibilidade em tempo real. Aparentemente, falta de integração entre o Estoque e Visibilidade da cadeia do suprimento, que é a que teve a menor média entre todas as subdimensões se reduzida a 1,89 pode ser uma restrição importante.

Este resultado também aponta para a natureza logística de alta complexidade da operação da empresa, especialmente em uma região como a Zona Franca de Manaus. Observamos que a alta eficiência da Cadeia de Suprimentos necessita de uma comunicação intensa e compartilhamento de informações que pode estar sendo prejudicada por falta de visibilidade SCM.

A subdimensão Integração SCM (2,17) sublinha a necessidade de um melhor alinhamento e coordenação entre os diferentes elos da cadeia de suprimentos. A recomendação de formar e apoiar fornecedores locais na Zona Franca de Manaus visa melhorar a integração e a confiança na rede de fornecimento. Já a Agilidade SCM (2,83) aponta para a importância de diversificar fornecedores e transportadores para reduzir a dependência e melhorar a flexibilidade da cadeia de suprimentos, o que está diretamente ligado à melhoria dos Lead Times (3,22). Embora os Lead Times tenham apresentado a melhor média, ainda existem oportunidades para aperfeiçoamento contínuo dos processos produtivos e redução dos tempos de entrega.

Portanto, o presente estudo aponta para uma abordagem integrada da Cadeia de Suprimentos visto que é necessária para a gestão de ponta-a-ponta, ainda que o aprimoramento em uma subdimensão possa ter um efeito positivo, influenciando positivamente algumas de suas partes recomenda-se a busca pela total integração entre as subdimensões da cadeia.

Como última análise, entendemos que a empresa deve se concentrar em seus sistemas de gestão de inventário, melhorar a integração entre a rede de fornecedores e a capacidade de adaptação de acordo com a demanda do mercado. Também não se pode ignorar o uso de estratégias que abordem as deficiências identificadas, ao mesmo tempo em que promovem oportunidades para aumentar a eficiência, resiliência e visibilidade dentro das subdimensões.

Como sugestões para uma análise futura, vários métodos estatísticos podem ser delineados para validar ou rejeitar alguns dos resultados obtidos. Isso também significará uma abordagem mais profunda e orientada para as causa-raiz, a fim de avaliar e atuar para uma melhor maturidade da cadeia de suprimentos.

Referências

- ALBUQUERQUE, E. M. Sistema Estadual de Inovação de Minas Gerais: um balanço introdutório e uma discussão do papel (real e potencial) da FAPEMIG para a sua construção. Belo Horizonte, UFMG, 2001.
- ALMEIDA, R. C., PEREIRA, V. F. Desafios e Oportunidades na Maturidade do Polo Industrial de Manaus: Perspectivas de Inovação e Sustentabilidade. **Journal of Sustainable Development and Industrialization**, 12(3), 123-139, 2021.
- AZEVEDO, A., SANTIAGO, S. B. Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: An application to a manufacturing company. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, Toronto, ON, Canada, pp. 23-25, 2019.
- CABRAL FILHO, Djalma Alves. Logística 4.0: fundamentos e importancia: Logistics 4.0: fundamentals and importance. *Brazilian Journal of Business*, v. 5, n. 3, p. 1808-1820, 2023.
- COSTA, J. F., RODRIGUES, M. A., SILVA, L. T. A Evolução e Maturidade do Polo Industrial de Manaus: Uma Análise Histórica e Econômica. **Revista Brasileira de Administração**, 18(2), 85-102, 2019.
- ITIKAWA, M.; SANTIAGO, S B.. A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics In the Manaus Free Trade Zone. *International journal of advanced engineering research and science*, v. 8, p. 1, 2022.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Frankfurt, 2013.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 9ª edição. Atlas. 2021.
- LIMA, R. S., OLIVEIRA, F. J. Inovação e Sustentabilidade no Polo Industrial de Manaus: Desafios e Oportunidades. **Journal of Industrial Sustainability**, 10(1), 78-92, 2021.
- MORAES, M. M. R. **Cadeia de suprimentos inteligente: estudo de caso em uma empresa do subsetor de concentrados para bebidas não alcoólicas do Polo Industrial de Manaus-PIM**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2023.
- OLIVEIRA, S. T. de; SANTIAGO, S. B. **Avaliação da adoção da indústria 4.0 em uma empresa termoplástica no polo industrial de Manaus - estudo de caso**. In: XII Simpósio

de Engenharia de Produção – SIMEP. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 22 a 24 de Maio de 2024.

OLIVEIRA, T., COSTA, L. Case Studies on the Application of the PIMM4.0 Model in Various Sectors. **Technological Forecasting and Social Change**, 176, 121-135, 2022.

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

PEREIRA, A. S. et. al. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 1. ed. Santa Maria, RS. UFSM, NTE. 2018.

RIBEIRO, R da S., SANTIAGO, S. B. **Maturidade na Indústria 4.0: Estudo de caso sobre a área de Cadeia de Suprimentos em uma empresa do segmento eletroeletrônico da Zona Franca de Manaus**. In: XII Simpósio de Engenharia de Produção – SIMEP. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 22 a 24 de Maio de 2024.

SACOMANO, J. B. et al. **Indústria 4.0**. Editora Blucher, 2018.

SANTOS, A. B., OLIVEIRA, R. C., & LIMA, J. P. (2020). Gestão da cadeia de suprimentos e maximização da produção e serviços: um estudo quantitativo na indústria de eletrodomésticos, TVs e micro-ondas. *Revista de Administração e Inovação*, 17(3), 274-290. [DOI: 10.1108/RAI-05-2019-0124].

SANTIAGO, Sandro Breval; DE SOUZA JÚNIOR, Armando Araújo. Maturity and readiness of the Manaus industrial pole: case study of the television product. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 5, p. 39543-39556, 2022.

SILVA, A. B., SANTOS, M. P. A Maturidade do Mercado de Trabalho no Polo Industrial de Manaus: Análise e Tendências. **Estudos de Economia e Trabalho**, 22(4), 97-114, 2022.

Silva, E. G. e, Couto, C., Melo, S. B. de, & Neiva, E. R. (2023). *Análises Estatísticas com Jasp – Um Guia Introductório*.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. HISTÓRICO - A história da Zona Franca de Manaus, em resumo. Site do Governo Federal. Disponível em: <<https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/o-que-e-o-projeto-zfm>> Acesso em: 21 Ago. 2024.

YAMADA, V. Y. MARTINS, L. M. Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, n. esp., p. 95-109, 2019.