ÁREA TEMÁTICA: OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

DA FRAGMENTAÇÃO À ORQUESTRAÇÃO DE DADOS: O DESAFIO DA INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.

RESUMO

A Indústria 4.0 promete integrar sistemas e dados no ambiente produtivo, mas a proliferação de tecnologias pode gerar efeito inverso: a fragmentação da base informacional que sustenta o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Este artigo investiga como a orquestração de dados pode mitigar essa fragmentação e favorecer o PCP no chão de fábrica. Adotou-se abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, por meio de estudo de caso único da empresa *SenseUp Technology*, tratada como agente de orquestração de dados cujos clientes industriais constituem o lócus do PCP. A coleta triangulou entrevista semiestruturada com o *Chief Sales Officer* da empresa e análise documental institucional, e os dados foram examinados por análise de conteúdo com categorias definidas a priori a partir do referencial teórico. Os resultados indicam que a fragmentação se manifesta na coexistência de sistemas desconectados — o sistema de gestão empresarial e silos paralelos alimentados manualmente — e que a orquestração atua como camada de mediação que restaura a coerência informacional exigida pela decisão produtiva. Evidenciou-se, ainda, que a orquestração pressupõe maturidade digital do cliente e exige discernimento estratégico quanto a quando integrar, dado que nem toda integração se justifica economicamente. Conclui-se que a contribuição da tecnologia ao PCP não reside na quantidade de sistemas, mas na organização e no fluxo coerente da informação, reposicionando a orquestração de dados como condição para converter complexidade tecnológica em vantagem competitiva.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Produção; Indústria 4.0; Orquestração de dados; Fragmentação de dados; Estudo de caso.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution promises to integrate systems and data within the production environment, yet the proliferation of technologies may produce the opposite effect: the fragmentation of the informational base that supports Production Planning and Control (PPC). This article investigates how data orchestration can mitigate such fragmentation and support PPC on the shop floor. A qualitative, exploratory and descriptive approach was adopted through a single case study of SenseUp Technology, framed as a data orchestration agent whose industrial clients constitute the locus of PPC. Data collection triangulated a semi-structured interview with the company's Chief Sales Officer and institutional documentary analysis, and the material was examined through content analysis with categories defined a priori from the theoretical framework. The results indicate that fragmentation manifests in the coexistence of disconnected systems — the enterprise resource planning system and parallel silos fed manually — and that orchestration acts as a mediating layer restoring the informational coherence required for production

decisions. It was also found that orchestration presupposes the client's digital maturity and demands strategic discernment regarding when to integrate, since not every integration is economically justified. It is concluded that technology's contribution to PPC lies not in the number of systems, but in the coherent organization and flow of information, repositioning data orchestration as a condition for converting technological complexity into competitive advantage.

Keywords: Production Planning and Control; Industry 4.0; Data orchestration; Data fragmentation; Case study.

1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, consolidou-se como paradigma da produção contemporânea ao propor a integração entre os ambientes físico e digital por meio de tecnologias como a Internet das Coisas, o *Big Data*, a computação em nuvem, a inteligência artificial e os sistemas ciberfísicos. A promessa central desse paradigma é a de que máquinas, processos e sistemas de gestão passem a compartilhar dados de forma contínua, elevando a produtividade, a flexibilidade e a eficiência dos processos industriais. No centro dessa transformação está o Planejamento e Controle da Produção (PCP), área que, definida como um sistema de informações voltado à decisão, depende diretamente da disponibilidade de dados coerentes para planejar quantidades, prazos e capacidades (PEREIRA; ERDMANN, 2015).

Há, contudo, um paradoxo pouco explorado nessa trajetória. A adoção intensiva de tecnologias digitais multiplica sensores, dispositivos e plataformas — sistemas de gestão empresarial, de execução da manufatura e de supervisão, entre outros — e, ao fazê-lo, pode fragmentar a base informacional em vez de unificá-la. Quando os sistemas não são interoperáveis, os dados permanecem dispersos em ilhas desconectadas, e a promessa de integração converte-se em abundância de dados acompanhada de escassez de informação útil para a decisão (CAÑAS et al., 2022). O problema não é, portanto, de quantidade de tecnologia, mas de organização: o valor do dado industrial só se realiza quando ele é convertido em informação e, desta, em ação (KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024).

Diante desse cenário, coloca-se o problema de pesquisa que orienta este trabalho: de que modo a orquestração de dados — entendida como a função de organizar, padronizar e sistematizar fluxos informacionais dispersos — pode mitigar a fragmentação de dados gerada pela proliferação de sistemas na Indústria 4.0 e, com isso, favorecer o Planejamento e Controle da Produção no chão de fábrica?

O objetivo geral do estudo é investigar como a orquestração de dados pode mitigar a fragmentação informacional e favorecer o PCP em ambientes de Indústria 4.0. Como objetivos específicos, busca-se: (i) caracterizar o PCP como sistema de informações para a decisão; (ii) analisar a manifestação empírica da fragmentação de dados no ambiente industrial; e (iii) examinar como a orquestração de dados atua como camada de mediação entre a

complexidade tecnológica e a decisão produtiva. Para tanto, adota-se como estratégia empírica o estudo de caso único da empresa *SenseUp Technology*, aqui tratada não como produtora de bens, mas como agente de orquestração de dados cujos clientes industriais constituem o lócus do PCP. Sendo uma plataforma de integração *iPaaS* que reduz custos, acelera projetos e identifica falhas.

A relevância do estudo é dupla. No plano teórico, contribui para uma lacuna reconhecida na literatura, que aponta a ausência de arcabouços capazes de estruturar de forma sistemática o funcionamento do PCP no contexto da Indústria 4.0 (CAÑAS et al., 2022). No plano prático, oferece a gestores subsídios para compreender que a integração de dados é condição e não consequência automática da digitalização produtiva, exigindo discernimento estratégico sobre o papel de cada sistema.

Este artigo está estruturado em cinco seções. Após esta introdução, a segunda seção aborda o referencial teórico que fundamenta o PCP como sistema de informação, o papel da Indústria 4.0 e a dinâmica da orquestração de dados. A terceira seção detalha os procedimentos metodológicos do estudo de caso qualitativo. A quarta seção apresenta a análise e discussão dos resultados à luz das evidências do caso. Por fim, a quinta seção reúne as conclusões, contribuições, limitações e direcionamentos para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Planejamento e Controle da Produção como sistema de informações para a decisão

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) é o núcleo decisório que traduz a demanda em ação produtiva. Segundo Tubino (2017), o PCP desempenha um papel de coordenação estratégica e operacional, atuando no suporte às decisões sobre o que, quanto, quando e com quais recursos produzir. Complementarmente, Pereira e Erdmann (2015) definem o PCP como um sistema de informações que gerencia a produção sob a ótica das quantidades a serem elaboradas, de cada tipo de bem ou serviço, e do tempo necessário à sua execução. Nessa concepção, o ato de produzir decorre diretamente do fluxo informacional que aciona os recursos físicos.

A informação assume, portanto, o papel de recurso estratégico para a integração dos subsistemas organizacionais (PEREIRA; ERDMANN, 2015). Sob a ótica de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), a eficácia operacional do PCP depende da capacidade de conciliar a oferta e a demanda, o que exige um fluxo contínuo e confiável de dados entre as compras, o chão de fábrica e a distribuição. Entre esses subsistemas, Pereira e Erdmann (2015) destacam o subsistema gerenciador de informações, responsável por estabelecer as ligações entre os componentes do sistema produtivo. Cabe a ele assegurar que informações coerentes estejam disponíveis na área de produção. Contudo, as organizações frequentemente dispõem de um volume substancial de dados sem que estes estejam direcionados aos objetivos específicos de cada nível decisório (PEREIRA;

ERDMANN, 2015). Essa ressalva antecipa o problema examinado neste estudo: dados em excesso não equivalem à informação útil.

No plano funcional, o PCP articula atividades distribuídas em três horizontes decisórios: estratégico, tático e operacional (TUBINO, 2017). Suas funções básicas incluem o programa-mestre de produção, o planejamento das necessidades de materiais (MRP), a gestão da demanda, o planejamento da capacidade e o sequenciamento de ordens, com vistas a reduzir o material em processo, minimizar tempos e custos e aprimorar a resposta às variações de demanda (CAÑAS et al., 2022; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Historicamente, essas funções evoluíram junto com as tecnologias de informação: dos primeiros sistemas MRP ao MRP II e, posteriormente, à integração das atividades na lógica do ERP e da Manufatura Integrada por Computador (PEREIRA; ERDMANN, 2015; TUBINO, 2017). O ápice dessa trajetória ocorre quando se alcança a integração de todos os recursos e informações do sistema operacional — promessa que a Indústria 4.0 reatualiza sobre novas bases tecnológicas (PEREIRA; ERDMANN, 2015).

2.2 A Indústria 4.0 e a promessa da integração

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração entre os ambientes físico e digital por meio de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), o *Big Data*, a computação em nuvem, a inteligência artificial e os sistemas ciberfísicos. No campo da gestão da produção, Cañas et al. (2022) demonstram que a transformação do PCP nesse contexto assenta-se em três tipos de integração de dados: a vertical, referente aos dados internos dos processos de negócio; a horizontal, relativa aos dados externos ao longo da cadeia de suprimentos; e a integração ponta a ponta, que percorre todo o ciclo de vida do produto. Os autores apontam o modelo de referência RAMI 4.0 como adequado para estruturar tais integrações de modo padronizado (CAÑAS et al., 2022).

Ghobakhloo (2018) ressalta que o sucesso da transição para a Indústria 4.0 depende da criação de um ecossistema digital no qual a conectividade e a interoperabilidade atuem como sustentáculos do fluxo produtivo. Contudo, a promessa de integração repousa sobre o pressuposto de que os dados gerados por sensores, máquinas e sistemas fluam de maneira íntegra e sem barreiras. Conforme destacam Ghag e Inamdar (2020), a coexistência de sistemas legados com novas arquiteturas em nuvem gera desafios acentuados de compatibilidade e integração de dados, exigindo uma camada que harmonize essas fontes heterogêneas.

Isoladamente, o dado industrial constitui matéria bruta; seu valor gerencial só se realiza quando convertido em informação e, desta, em ação (KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024). A capacidade de coletar e analisar grandes volumes de dados industriais é apontada como vetor de inovação e de competitividade no setor manufatureiro, condicionada, porém, à organização e à disponibilidade desses dados (GHAG; INAMDAR, 2020; KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024).

2.3 O paradoxo da fragmentação de dados e a orquestração como mediação

A multiplicação de tecnologias da Indústria 4.0 introduz um paradoxo pouco explorado: ao acrescentar sensores, dispositivos e plataformas — sistemas de gestão empresarial (ERP), de execução da manufatura (MES), de gestão do ciclo de vida do produto (PLM) e de supervisão e aquisição de dados (SCADA), entre outros —, a digitalização pode fragmentar a base informacional em vez de unificá-la. Cañas et al. (2022) reconhecem que a integração entre processos de negócio e recursos físicos exige enfrentar a interoperabilidade, a heterogeneidade dos dados e a integração de software entre sistemas distintos. Quando esses desafios não são superados, os sistemas permanecem desconectados, condição que contraria o objetivo da integração. Não por acaso, os autores identificam como lacunas de pesquisa a necessidade de definir as características funcionais das ferramentas de software requeridas para o PCP inteligente e de unificar arquiteturas capazes de mapear e sincronizar os espaços físico e digital (CAÑAS et al., 2022).

O paradoxo evidencia-se ao confrontar os eixos anteriores. Se a eficácia do PCP depende da disponibilidade de informações coerentes para a decisão (PEREIRA; ERDMANN, 2015; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018), a fragmentação de dados atinge a condição fundadora do PCP como sistema de informações. A Indústria 4.0, ao prometer a integração plena dos recursos e informações, pode produzir efeito inverso: abundância de dados acompanhada de escassez de informação utilizável. Trata-se menos de um problema de quantidade de tecnologia e mais de um problema de orquestração — entendida como a função de organizar, padronizar e sistematizar fluxos informacionais dispersos. A multiplicidade de plataformas exige discernimento estratégico quanto ao papel de cada sistema, sob risco de o gestor decidir a partir de informação incompleta.

A hipótese teórica que orienta o estudo é a de que a orquestração de dados atua como camada de mediação capaz de restaurar a coerência informacional exigida pelo PCP, convertendo a complexidade tecnológica em vantagem competitiva. Essa hipótese articula os três eixos: o requisito de coerência informacional do PCP (PEREIRA; ERDMANN, 2015; TUBINO, 2017), as condições de integração da Indústria 4.0 (CAÑAS et al., 2022; GHOBAKHLOO, 2018) e a cadeia de transformação do dado em ação (KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024). O caso da *SenseUp* é analisado à luz dessa hipótese, tratando a orquestração não como solução universal, mas como instância empírica de um problema teórico mais amplo.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, operacionalizada por meio de estudo de caso único. A escolha decorre da natureza contemporânea e contextualizada do fenômeno investigado — o paradoxo da fragmentação de dados no PCP em ambientes de Indústria 4.0 —, condição em que o estudo de caso é o delineamento adequado (YIN, 2015). Na pesquisa qualitativa, privilegia-se o processo de

interpretação, cabendo ao pesquisador o papel de principal instrumento de análise (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011).

A unidade de análise é a atuação da *SenseUp Technology* como agente de orquestração de dados aplicada ao PCP de clientes industriais, e não a empresa enquanto produtora de bens. O enquadramento justifica-se porque a *SenseUp* é uma empresa de tecnologia, cujo produto principal é uma plataforma de integração como serviço (iPaaS). O lócus do PCP situa-se nos clientes industriais cujos sistemas a empresa integra, articulando o chão de fábrica aos sistemas corporativos. A seleção foi intencional, por adequação teórica: a *SenseUp* opera na camada que a fundamentação teórica identifica como crítica — a da integração entre sistemas heterogêneos.

A coleta apoia-se na triangulação de duas fontes, estratégia que busca superar as limitações de uma fonte única e conferir maior validade aos achados (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). A primeira fonte é uma entrevista semiestruturada com o *Chief Sales Officer* (CSO) da *SenseUp*, conduzida a partir de um roteiro; a escolha do informante-chave decorre de sua posição estratégica e de sua visão sobre o produto, os clientes e o mercado de atuação da empresa. A segunda fonte é a análise documental do material institucional da empresa, tratado criticamente como fonte de autorrepresentação organizacional, e não como evidência neutra de desempenho. Os indicadores divulgados pela empresa são reportados com atribuição explícita à fonte, em conformidade com a advertência de que o pesquisador não é um receptor passivo e de que as formas simbólicas analisadas são previamente interpretadas pelos sujeitos que as produzem (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011).

Os dados foram tratados por análise de conteúdo, compreendida como um conjunto de técnicas de análise das comunicações que emprega procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, visando à inferência de conhecimentos relativos às suas condições de produção (BARDIN, 2016). Adotou-se o percurso em três fases: pré-análise, em que se organiza o material e se sistematizam as ideias iniciais; exploração do material, em que se procede à codificação e à categorização do corpus; e tratamento dos resultados, inferência e interpretação (BARDIN, 2016; MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). As categorias foram definidas a priori, a partir dos três eixos do referencial teórico, uma vez que a inferência em análise de conteúdo pressupõe o domínio prévio dos conceitos teóricos que orientam a leitura dos dados (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011): (1) PCP como sistema de informações para a decisão; (2) a fragmentação informacional na Indústria 4.0; e (3) a orquestração de dados como mediação. Categorias emergentes foram incorporadas indutivamente ao longo da exploração do material. A etapa interpretativa considerou o contexto de produção das comunicações, evitando a redução da técnica a um procedimento mecânico de categorização (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011).

Para assegurar validade e confiabilidade, adotaram-se a triangulação de fontes de evidência, o detalhamento dos procedimentos de coleta e análise e a explicitação dos vieses inerentes às fontes documentais de

caráter institucional (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). Por tratar-se de estudo de caso único, não se busca generalização estatística, mas transferibilidade analítica para contextos semelhantes — limite inerente à pesquisa qualitativa (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise organiza-se segundo as três categorias definidas a priori, no interior das quais se incorporam as categorias emergentes identificadas na exploração do material (BARDIN, 2016). As falas do entrevistado são reportadas como manifestações da perspectiva da empresa, e não como evidências neutras de desempenho (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011).

O caso apresenta uma particularidade que reforça sua pertinência: a *SenseUp* originou-se de um programa de inovação aberta da mineradora Vale, a partir de um problema de telemetria de sensores que não atualizavam de forma confiável a Central de Monitoramento de Ativos, segundo o CSO da empresa. A empresa nasce, assim, da manifestação empírica do próprio fenômeno investigado (YIN, 2015).

4.1 O PCP como sistema de informações para a decisão

O discurso do entrevistado alinha-se à concepção do PCP como sistema de informações voltado à decisão (PEREIRA; ERDMANN, 2015; TUBINO, 2017). Segundo o CSO, a gestão das empresas é baseada em dados — ordens de produção, estoque, compras e manutenção — que devem fluir de forma correta e harmônica. A formulação reproduz, em linguagem empresarial, a tese de que a informação é o recurso estratégico da decisão e da integração dos subsistemas (PEREIRA; ERDMANN, 2015; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

O entrevistado explicita a cadeia causal entre falha informacional e prejuízo operacional: quando a informação não flui, pode faltar matéria-prima ou deixar de ser executada uma manutenção, resultando em parada de produção, atraso nas entregas e custos adicionais. O planejamento, conforme relata, depende da disponibilidade simultânea de informações sobre capacidade de máquina, estoque e pessoal; na ausência dessas variáveis, os prazos tornam-se inviáveis e a qualidade é comprometida. Essa constatação empírica converge diretamente com a perspectiva de Tubino (2017) e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), que enfatizam que a falha no fluxo de dados compromete o sequenciamento e desequilibra a relação entre capacidade produtiva e demanda programada. Confirma-se a proposição de que o ato de produzir decorre das informações que acionam o sistema de produção (PEREIRA; ERDMANN, 2015).

4.2 A fragmentação informacional na Indústria 4.0

O relato do CSO descreve de forma concreta o paradoxo tratado pela literatura. Ainda que exista um sistema central — o ERP — que concentra grande parte das informações, esse sistema não preenche todas as lacunas exigidas pela produção e pela manutenção. Em decorrência, o controle migra para planilhas e sistemas paralelos, como o MES (*Manufacturing Execution*

System) e o CMMS (*Computerized Maintenance Management System*), descritos pelo entrevistado como silos alimentados por digitação manual ou apenas parcialmente digital. O relato materializa a condição de sistemas desconectados que resulta da não resolução dos desafios de interoperabilidade e heterogeneidade de dados (CAÑAS et al., 2022). A existência desses silos paralelos exemplifica o alerta de Ghobakhloo (2018) sobre os riscos da introdução de tecnologias sem a devida interoperabilidade. Como sustentam Ghag e Inamdar (2020), a proliferação de *softwares* isolados perpetua a dependência de processos manuais de alimentação, gerando ruídos na informação útil que deveria alimentar o PCP. A noção de silo, empregada espontaneamente pelo entrevistado, converge com o problema da integração vertical apontado por Cañas et al. (2022) como primeira etapa da transformação do PCP.

Instigado a avaliar se mais tecnologia organiza ou complica a base de dados, o CSO sustenta que o valor da Indústria 4.0 não está no uso isolado de qualquer tecnologia habilitadora, mas na convergência entre elas. A afirmação sustenta o argumento central: a tecnologia isolada não resolve e pode agravar a fragmentação, cujo valor emerge da integração (CAÑAS et al., 2022; GHOBAKHLOO, 2018; KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024). O entrevistado situa a própria integração de sistemas, vertical e horizontal, como uma das tecnologias habilitadoras do paradigma.

A exploração do material revelou, ainda, uma condição não prevista nas categorias iniciais e incorporada indutivamente: a maturidade digital como pré-condição da orquestração. O CSO identifica como principal desafio a falta de maturidade dos sistemas — ausência de meios de integração ou de documentação — e aponta que o tema da integração é frequentemente relegado a segundo plano nas corporações, apesar de seu caráter estratégico. O achado qualifica o argumento teórico: a orquestração pressupõe um grau mínimo de maturidade tecnológica no cliente, o que amplia a discussão de Cañas et al. (2022) ao evidenciar que a interoperabilidade depende não apenas da existência dos sistemas, mas de sua capacidade documentada de comunicação e da priorização estratégica da integração.

4.3 A orquestração de dados como mediação

O entrevistado descreve a plataforma como uma ponte que conecta dois ou mais sistemas, com monitoramento contínuo do tráfego de dados. Do ponto de vista da decisão produtiva, afirma que a disponibilidade da informação correta e tempestiva permite que a produção opere de forma harmônica. A operacionalização técnica, segundo o CSO, dá-se pela exploração das interfaces de programação (APIs) dos sistemas, com recurso à conexão direta a bancos de dados ou à geração de arquivos pré-formatados quando necessário; a arquitetura low-code, com conectores pré-configurados, acelera o desenvolvimento das integrações. Ao atuar como essa camada de mediação, a orquestração de dados materializa a integração vertical e horizontal descrita por Cañas et al. (2022) e defendida por Ghobakhloo (2018) e Ghag e Inamdar (2020), enfrentando a heterogeneidade de dados no chão de fábrica.

A articulação entre orquestração e decisão aparece no exemplo do planejamento da produção, que depende de informações sobre capacidade de máquina, estoque e pessoal — variáveis que a orquestração torna simultaneamente disponíveis. O relato é consistente com a proposição de que a aproximação entre dado e ação sustenta o valor competitivo da informação industrial (KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024) e restabelece a função do PCP como sistema unificado de informações (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018; TUBINO, 2017). Um desdobramento relevante liga-se diretamente ao PCP: a manutenção preditiva. Segundo o entrevistado, a integração da telemetria de sensores aos sistemas de gestão da manutenção permite deslocar a manutenção corretiva para a preditiva, evitando quebras de máquina e as consequentes paradas de produção. Como a disponibilidade de máquina é variável direta do planejamento, uma parada não prevista compromete a capacidade considerada no plano (CAÑAS et al., 2022; PEREIRA; ERDMANN, 2015; TUBINO, 2017); não por acaso, esse foi o problema de origem da empresa na Vale, o que evidencia a manutenção preditiva como manifestação concreta do vínculo entre orquestração de dados e coerência do PCP.

Um segundo achado emergente é o mais significativo para a imparcialidade da análise: o discernimento estratégico sobre quando integrar. O entrevistado explicita critérios para avaliar a pertinência de contratar uma plataforma de integração — entre eles, se a integração evita erros humanos, o volume de dados trafegados e a criticidade do dado — e critérios para a escolha da plataforma, como criticidade dos dados, valor de investimento, ambiente, volume de tráfego e modelo de remuneração compatível com o negócio do cliente. De forma reveladora, o CSO reconhece um cenário em que a orquestração não se justifica: a atualização diária de cotações de moedas no ERP de um cliente sem operações de comércio exterior, tarefa executável manualmente em um minuto. O reconhecimento materializa, a partir da fala do próprio fornecedor, a noção de discernimento estratégico sobre a multiplicidade de plataformas, sustentando a proposição de que a orquestração deve ser objeto de avaliação de custo-benefício, e não adotada como imperativo tecnológico.

Quadro 1 – Síntese analítica: categorias a priori, evidências empíricas e ancoragem teórica

Categoria teórica	Evidência empírica (perspectiva do CSO)	Ancoragem teórica
PCP como sistema de informações para a decisão	Gestão baseada em dados que devem fluir de forma correta; planejamento depende de capacidade de máquina, estoque e pessoal.	Pereira e Erdmann (2015); Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018); Tubino (2017).
Fragmentação informacional na Indústria 4.0	ERP não preenche todas as lacunas; controle migra para planilhas e silos paralelos (MES, CMMS) alimentados manualmente.	Cañas et al. (2022); Ghag e Inamdar (2020); Ghobakhloo (2018).

Orquestração de dados como mediação	Plataforma como ponte com monitoramento contínuo; integração via APIs; informação tempestiva para a decisão.	Cañas et al. (2022); Ghag e Inamdar (2020); Kunecová, Bikfalvi e Marques (2024).

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

4.4 Triangulação e confronto entre fontes

Em conformidade com a triangulação adotada (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011), os indicadores obtidos na entrevista foram confrontados com o material documental institucional, revelando divergências que merecem registro. Quanto à redução de incidentes no caso Vale, o material documental reporta 72%, enquanto o entrevistado indica 90% no primeiro ano. Quanto ao desempenho em tempo e custo, o material documental menciona redução de 17% no tempo de desenvolvimento e de 22% no custo total de projeto, ao passo que o entrevistado apresenta recortes distintos: redução de 30% no tempo de *setup* na primeira integração e de 60% a partir da segunda integração de mesmo escopo em outro cliente, além de redução de 50% no custo de integração na Vale.

As divergências não invalidam os dados, mas evidenciam a natureza auto relatada das métricas e a necessidade de tratá-las com cautela, atribuindo-as à fonte (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). O próprio entrevistado delimita o alcance das mensurações da empresa ao afirmar que os indicadores medidos dependem do escopo entregue e que os ganhos de produtividade e de redução de estoque são medidos pelos clientes — ressalva que reforça a credibilidade do depoimento ao reconhecer os limites do que a empresa efetivamente afere.

Quadro 2 – Confronto entre fontes: indicadores de desempenho

Indicador	**Material documental institucional**	**Entrevista (perspectiva do CSO)**
Redução de incidentes (Vale)	72%	90% no primeiro ano
Tempo	-17% no tempo de desenvolvimento	-30% no *setup* (1ª integração); -60% (2ª integração)
Custo	-22% no custo total de projeto	-50% no custo de integração (Vale)

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir do material institucional e da entrevista.

5 CONCLUSÃO

Este estudo investigou como a orquestração de dados pode mitigar a fragmentação informacional gerada pela proliferação de sistemas na Indústria 4.0 e, com isso, favorecer o Planejamento e Controle da Produção. A análise do caso da *SenseUp Technology* permitiu confirmar, no plano empírico, o paradoxo formulado teoricamente: a digitalização produtiva, ao multiplicar

sistemas, tende a dispersar a base informacional em silos desconectados, contrariando a própria condição de existência do PCP como sistema de informações (CAÑAS et al., 2022; GHOBAKHLOO, 2018; PEREIRA; ERDMANN, 2015; TUBINO, 2017).

Quanto aos objetivos específicos, o estudo caracterizou o PCP como sistema de informações para a decisão e encontrou, no discurso do entrevistado, correspondência direta com essa concepção; analisou a manifestação empírica da fragmentação, descrita como a coexistência entre um sistema central e silos paralelos alimentados manualmente; e examinou a orquestração de dados como camada de mediação que restaura a coerência informacional necessária à decisão produtiva. Os achados sustentam a hipótese de que a orquestração converte a complexidade tecnológica em condição de decisão qualificada, aproximando o dado da ação (KUNECOVÁ; BIKFALVI; MARQUES, 2024).

A principal contribuição teórica do trabalho está em oferecer evidência empírica para uma lacuna reconhecida na literatura — a ausência de estruturação sistemática do PCP no contexto da Indústria 4.0 (CAÑAS et al., 2022) — e em qualificar essa discussão com dois achados emergentes: a maturidade digital como pré-condição da orquestração e o discernimento estratégico sobre quando integrar. Este último é particularmente relevante por afastar a leitura, comum no discurso da digitalização, de que mais tecnologia seria sempre preferível; ao contrário, o próprio caso demonstra que a orquestração deve submeter-se a uma avaliação de custo-benefício. No plano prático, o estudo oferece a gestores um critério claro: a vantagem competitiva não decorre da quantidade de sistemas adotados, mas da organização e do fluxo coerente da informação que sustenta a decisão.

O estudo apresenta limitações. Por tratar-se de estudo de caso único, apoiado na perspectiva de um único informante-chave e em material institucional de natureza auto representativa, seus resultados não são generalizáveis estatisticamente, restringindo-se à transferibilidade analítica para contextos semelhantes (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). O confronto entre fontes revelou, ademais, divergências nos indicadores divulgados pela empresa, o que reforça a necessidade de cautela no tratamento de dados de desempenho auto relatados.

Para pesquisas futuras, sugere-se investigar o fenômeno a partir da perspectiva dos clientes industriais — o lócus efetivo do PCP —, de modo a mensurar, com indicadores auditáveis como lead time, aderência ao plano e disponibilidade de máquina, o impacto da orquestração de dados sobre o desempenho produtivo. Estudos multicasos e abordagens longitudinais também poderiam fortalecer a transferibilidade dos achados e testar, em diferentes níveis de maturidade digital, a relação entre orquestração de dados e eficácia do Planejamento e Controle da Produção.

Declaração de Uso de Inteligência Artificial

Nós, autores do manuscrito acima identificado, declaramos, em conformidade com as diretrizes de ética, transparência e integridade científica, que utilizamos ferramentas de Inteligência Artificial Generativa (IAG) durante as

etapas de desenvolvimento, revisão e estruturação deste trabalho, conforme detalhado a seguir:

1. Ferramentas Utilizadas e Especificação de Uso:

Claude:

Finalidade: Repositório dinâmico de artigos acadêmicos e suporte na síntese bibliográfica.

Etapas: Leitura exploratória, armazenamento de literatura de suporte e auxílio no mapeamento de conceitos-chave relativos à Indústria 4.0, orquestração de dados e PCP.

Gemini:

Finalidade: Suporte na revisão textual, aprimoramento da coesão linguística e incorporação de ajustes metodológicos e teóricos indicados pela orientação acadêmica.

Etapas: Reorganização e fluidez textual da seção de Metodologia, inclusão de citações complementares nas seções de Fundamentação Teórica e Análise dos Resultados e adequação formal da estrutura do manuscrito.

2. Autoria, Supervisão Humana e Responsabilidade Ética

Inexistência de Autoria da IA: As ferramentas de Inteligência Artificial utilizadas atuaram exclusivamente como suporte auxiliar. Não foram citadas nem creditadas como autoras ou co autoras do trabalho.

Supervisão Humana: Todo o conteúdo gerado, reestruturado ou sugerido pelas ferramentas passou por leitura crítica, verificação factual e validação minuciosa por parte dos autores.

Integridade dos Dados: O caso prático, os dados primários da entrevista com o *Chief Sales Officer* (CSO) e os dados secundários da análise documental são autênticos, reais e de inteira responsabilidade dos autores, não tendo sido fabricados ou manipulados por IA.

Responsabilidade Final: Os autores assumem a responsabilidade pela originalidade, precisão, validade e integridade ética de todo o conteúdo apresentado no manuscrito final submetido ao ENANGRAD.

Referências

- **BARDIN, Laurence.** Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.
- **CAÑAS, Héctor; MULA, Josefa; CAMPUZANO-BOLARÍN, Francisco; POLER, Raúl.** A conceptual framework for smart production planning and control in Industry 4.0. Computers & Industrial Engineering, v. 173, art. 108659, 2022.
- **GHAG, Rushikesh; INAMDAR, Girish**. *Integration of IoT and ERP for Industry 4.0: A review. Materials Today: Proceedings, v. 28, p. 2382-2386, 2020.*

- **GHOBAKHLOO, Morteza.** *The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018.*

- **KUNECOVÁ, Jana; BIKFALVI, Andrea; MARQUES, Pilar**. *Sustainability orientation, industrial big data and product innovation: evidence from the European manufacturing sector. Computers & Industrial Engineering, v. 191, art. 110163, 2024.*

- **MOZZATO, Anelise Rebelato; GRZYBOVSKI, Denize**. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios. Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 731-747, jul./ago. 2011.

- **PEREIRA, Érica Cristiane Ozório; ERDMANN, Rolf Hermann**. A evolução do planejamento e controle e o perfil do gerente da produção. [Anais...]. Santa Catarina, jun. 2015.

- **SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert.** Administração da Produção. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

- **TUBINO, Dalvio Ferrari.** Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

- **YIN, Robert K.** Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.