



Indústria 4.0 e Inovação de Processos: Diagnóstico Operacional em uma Indústria Química

Gustavo de Oliveira Hanauer, Universidade Feevale-RS, Brasil¹

Serje Schmidt, Universidade Feevale-RS, Brasil²

Maria Cristina Bohnenberger Universidade Feevale-RS, Brasil³

Dusan Schreiber, Universidade Feevale-RS, Brasil⁴

Luciane Pereira Viana, Universidade Feevale-RS, Brasil⁵

RESUMO

O objetivo do estudo foi diagnosticar os processos operacionais de uma indústria química em relação às tecnologias da indústria 4.0 sob a perspectiva de inovação de processos. Adotou-se uma abordagem qualitativa, por meio de um estudo de caso único, com coleta de dados empíricos por meio de entrevistas em profundidade, análise documental e observação não participante. Os dados foram submetidos à análise de conteúdo. Os resultados indicaram que a empresa utilizava algumas tecnologias da Indústria 4.0, embora sem reconhecê-las formalmente. O diagnóstico da operação permitiu identificar gargalos de tempo e de produtividade, evidenciando impactos no desempenho operacional. A partir disso, foram sugeridas ações de implementação e redirecionamento de tecnologias da Indústria 4.0, como o monitoramento em tempo real dos processos produtivos, com potencial para reduzir tempos de espera, antecipar etapas operacionais e gerar ganhos estimados de até quatro horas no fluxo produtivo. O estudo amplia a compreensão sobre a relação entre Indústria 4.0 e inovação de processos em pequenas empresas químicas, contexto ainda pouco explorado na literatura. Além disso, evidencia a aplicabilidade do estudo de caso qualitativo para diagnosticar a maturidade tecnológica e identificar oportunidades de inovação em ambientes industriais de menor porte.

Palavras-chave: Gestão de operações; Indústria 4.0; Inovação; Inovação de processos; Processos operacionais;

INTRODUÇÃO

O avanço científico e tecnológico das últimas décadas tem transformado os cenários competitivos em diversos setores econômicos. Nesse contexto, destacam-se as tecnologias da Indústria 4.0, fundamentadas na automação e em soluções inovadoras que promovem a integração e a otimização dos processos organizacionais (Schreiber, 2022).

¹ Email: gustavo.hanauer@icloud.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6366-6342>

² Email: serje@feevale.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5710-1828>

³ Email: cristin@feevale.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4018-1796>

⁴ Email: dusan@feevale.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4258-4780>

⁵ Email: viana.luciane.lu@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-728X>

Paralelamente, a gestão de operações assume papel central no desempenho organizacional, ao viabilizar a administração eficiente dos recursos produtivos e o alinhamento entre processos e objetivos estratégicos (Battiston *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2024). Nesse sentido, a incorporação de tecnologias digitais à operação torna-se um elemento-chave para o aprimoramento da produtividade e da competitividade.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi diagnosticar os processos operacionais de uma indústria química em relação às tecnologias da indústria 4.0 sob a perspectiva de inovação de processos. Para tanto, buscou-se responder ao seguinte problema de pesquisa: quais são as alternativas para inovar processos operacionais adotando tecnologias da indústria 4.0?

Neste estudo utiliza-se uma pesquisa descritiva, com abordagem qualitativa e método de estudo de caso único (Demo, 2022; Gil, 2008; Yin, 2015) realizado em uma indústria química de pequeno porte, localizada na região do Vale do Rio dos Sinos (RS). Os dados foram coletados por meio de análise documental, entrevista em profundidade e observação sistemática não participante (Malhotra, 2019; Prodanov & Freitas, 2013). A análise documental foi realizada por meio de consulta aos registros internos da empresa analisada e as entrevistas foram realizadas com o químico responsável e com o diretor de planejamento estratégico. Como técnica de análise de dados, utilizou-se a análise de conteúdo, conforme Bardin (2011).

O estudo mostrou-se relevante para a empresa analisada ao possibilitar uma melhor compreensão de seus processos operacionais e indicar caminhos para aperfeiçoá-los por meio da adoção de tecnologias da Indústria 4.0, favorecendo ganhos de tempo, produtividade e eficiência. Além de orientar pequenas e microempresas sobre desafios e lacunas de seus modelos operacionais, o diagnóstico oferece uma visão prática e contextualizada sobre como a I4.0 pode ser implementada em realidades semelhantes. Para a academia, o trabalho contribui para preencher a escassez de estudos sobre a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no setor químico, ampliando o conhecimento sobre um tema ainda pouco explorado.

Referente à estrutura deste trabalho, ele está dividido nas seguintes seções: (2) fundamentação teórica, a qual foi subdividida em três tópicos, sendo eles (i) gestão de operação; (ii) inovação e; (iii) tecnologias da indústria 4.0; (3) metodologia; (4) resultados e análises; (5) considerações finais e; por fim as referências.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a revisão teórica, com a apresentação de conceitos e definições estruturantes que respaldaram tanto o processo de planejamento da pesquisa, bem como, a elaboração dos instrumentos de coleta e análise de dados.

2.1 GESTÃO DE OPERAÇÕES

Atividades de produção (ou da operação) são atividades que estão diretamente ligadas ao processo produtivo, independentemente do tipo de material que compõe o produto, pois tratam da maneira em que as organizações utilizam seus processos para produzir bens ou serviços, mas não significando, necessariamente, o tradicional chão de fábrica, composto por operários, máquinas e linhas produtivas. As atividades de operação, termo este que passou a ser utilizado com o avanço dos conceitos empresariais, ressalta a ampliação no escopo das atividades administrativas, passando a abranger todo e qualquer tipo de organização e não apenas indústrias de transformação de bens tangíveis (Oliveira *et al.*, 2024). Ainda conforme os autores, visando um melhor funcionamento e melhor adaptação para cada cenário diferente em cada organização, as atividades de operação precisaram andar lado a lado com a administração, cuja função é planejar, organizar, liderar e controlar o trabalho e utilizar da melhor maneira a os recursos disponíveis.

Diante deste contexto surge a administração (gestão) de operações, que nada mais é do que uma operação bem administrada e organizada, e que pode ser definida como um conjunto de tarefas, atividades e responsabilidades designadas aos gerentes de produção, que a partir de uma estratégia bem definida, conseguem gerir os recursos da organização para obter melhores resultados na obtenção de produtos e serviços (Battiston *et al.*, 2025).

Originalmente conhecida como gestão de produção, a *Operation Management*, ou gestão de operações, era associada a áreas típicas como controle de estoque, previsão, programação e layout do processo. Posteriormente, passou a ser reconhecida como gerenciamento de produção e operação, adicionando operações de serviço no foco de gerenciamento de fábrica (Petrillo *et al.*, 2025). Sendo assim, tem-se um conceito que surge

primeiramente na gestão da fábrica, passando pela gestão da produção e chegando em gestão de operações, cujas transformações conceituais e metodológicas aconteciam de maneira acelerada e, conseqüentemente, causaram grande impacto na atividade empresarial (Zoni & Bustamante, 2025).

Por envolver toda a organização e estar presente em praticamente todos os modelos operacionais, percebe-se a gestão de operações como um campo dinâmico e que vem se desenvolvendo e crescendo à medida em que vai aumentando o entendimento por parte das empresas e seus gestores sobre a complexidade das funções de produção e das operações de negócio que vão surgindo no âmbito empresarial dia após dia e que necessitam cada vez mais de estruturas e estratégias bem definidas (Heizer *et al.*, 2020).

Nesse sentido, entende-se que em contextos industriais de menor porte, como o analisado neste estudo, tais desafios tendem a ser ainda mais evidentes, uma vez que limitações estruturais e de recursos podem dificultar a formalização e a otimização dos processos operacionais. Diante do contexto, a primeira responsabilidade de qualquer gestor de operação é entender o objetivo do negócio e o que se está tentando atingir, implicando em uma visão clara sobre como a operação deve contribuir para que se atinja os objetivos no longo prazo. Ferreira *et al.* (2025) reforçam que o desenvolvimento de competências empreendedoras, como planejamento, persistência e busca por oportunidades, constitui elemento-chave para impulsionar a inovação e o desempenho organizacional em micro e pequenas empresas. Reforçam Sirtulli *et al.* (2025) que a ausência de práticas estruturadas de gestão de projetos e de coordenação eficiente compromete a geração de inovações.

A gestão de operações é tão importante para as organizações pois sua principal tarefa é transformar o pedido de um cliente em uma entrega, e por este motivo considera-se a gestão de operação como a mais importante função empresarial, pois é através deste processo que as exigências do cliente serão atendidas (Roselli & Almeida, 2025).

É importante considerar que grandes transformações vão acontecendo no âmbito competitivo de forma geral, obrigando as organizações (através de seus gestores) a pensar em maneiras de promover mudanças na visão estratégica e na forma como os modelos operacionais são utilizados para que o gerenciamento total das operações possa se adaptar a essas transformações (Barbieri & Scot, 2025). Se antes as responsabilidades operacionais diziam

respeito somente às suas próprias unidades produtivas, hoje tem-se uma visão integrada e direcionada não apenas para a parte interna da empresa, mas para fora também (Beier *et al.*, 2020; Ghobakhloo, 2020).

2.2 INOVAÇÃO

As primeiras definições sobre o termo inovação surgiram na década de 1920 por Schumpeter e enfatizavam a novidade, refletindo em novos resultados, sejam eles um bem ou uma qualidade, um método ou uma nova fonte de abastecimento, por exemplo, resumindo-se em fazer as coisas de uma maneira diferente. No entanto, a inovação não pode ser reduzida à simples ocorrência de mudanças, mas envolve transformação intencional orientada para criação de valor, como destaca Shonubi (2025), ao demonstrar que inovações organizacionais e tecnológicas emergem de processos estruturados de aprendizagem e adaptação.

Autores como Piamazzoni *et al.* (2025) complementam que a inovação vai além da criação de mercados inéditos, envolvendo também a redefinição de estratégias e práticas voltadas ao atendimento de mercados consolidados. Os autores afirmam também que esse processo é impulsionado pela capacidade de articular conexões, identificar possibilidades emergentes e transformá-las em valor. Essa perspectiva torna-se particularmente relevante em ambientes industriais com menor grau de formalização, nos quais a inovação tende a emergir de adaptações práticas e incrementais, mais do que de processos estruturados de P&D.

Contudo, estudos recentes apontam que a inovação raramente é um processo isolado, pois depende de redes colaborativas capazes de integrar conhecimentos internos e externos, sendo compreendida, em alguns casos como um processo dinâmico e adaptativo, dependente da capacidade organizacional de aprender, absorver estressores e transformar incertezas em oportunidades (Bartuseviciene *et al.*, 2025; Marcone, 2025; Schur *et al.*, 2025). Além disso, a inovação pode ser associada à capacidade de renovação organizacional também em ambientes digitais, nos quais tecnologias, práticas sociais e processos criativos interagem para gerar novos modelos de negócio, conforme discutido nas pesquisas sobre empreendedorismo no universo digital (Ulgen & Forslund, 2025).

Os tipos mais importantes de inovação são as inovações em processos e produtos, estando estes relacionados aos conceitos de inovação tecnológica. Diante disso, o processo de inovação, que em grande maioria é capaz de promover crescimento econômico e desenvolvimento social, apresenta-se como um tema chave para entender a criação e o desenvolvimento das empresas, surgindo, a partir desse propósito, o termo *open innovation*, (inovação aberta, na tradução), que é considerado uma faceta interconectada do processo de inovação e serve para aplicar entradas e saídas de conhecimento para promover e facilitar a inovação dentro das empresas (Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020; Zezulka *et al.*, 2022).

A inovação aberta é compreendida como um processo colaborativo entre múltiplos atores, cuja efetividade depende de fatores como confiança, proximidade relacional e capacidades colaborativas (Ülgen & Forslund, 2025). Esse modelo favorece o desempenho inovador e econômico por meio do transbordamento de conhecimento, manifestando-se nas formas *inbound* (aquisição de conhecimento externo), *outbound* (transferência de conhecimento para agentes externos) e acoplada, que combina ambos os fluxos, os quais podem ser pecuniários ou não, conforme os objetivos da cooperação. A efetividade da inovação aberta está associada à existência de relações contínuas, formais e informais, sustentadas por um clima organizacional harmonioso e pela confiança mútua entre os atores envolvidos (Silva *et al.*, 2020; Zezulka *et al.*, 2022).

No entanto, percebe-se que a aplicação desses modelos em pequenas empresas industriais ainda enfrenta desafios relacionados à capacidade de articulação com atores externos e à disponibilidade de recursos, o que pode limitar o alcance dessas estratégias.

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Diante do contexto de inovação e de busca por novas tecnologias, impulsionado pelo avanço científico e tecnológico que vem ocorrendo nas últimas décadas, as empresas estão cada vez mais necessitadas de alternativas que possam otimizar a sua operação e tornar a sua manufatura mais eficiente e economicamente viável.

Para Cañas *et al.* (2021), é possível representar a tecnologia em três categorias: (i) na categoria física, através de máquinas e equipamentos; (ii) na categoria humana, através das

habilidades e experiências dos colaboradores e (iii) na categoria organizacional, pelos sistemas de produção e procedimentos de qualidade.

O conceito de indústria 4.0, também conhecida como a quarta revolução industrial, surge como alternativa para modificar a maneira de gerir a operação das empresas através de tecnologias digitais emergentes e inovadoras, que facilitam o desenvolvimento a partir de diferentes maneiras de atingir os resultados através da reestruturação dos processos (Hanauer *et al.*, 2024; Schreiber, 2022).

Para Cordeiro *et al.* (2023), o termo indústria 4.0 (I4.0) é utilizado para representar o novo ciclo produtivo que surgiu com a nova revolução industrial, e é definido como a capacidade de integrar os sistemas ao longo das várias etapas do processo de produção, além de permitir a tomada de decisões descentralizadas a partir do menor número de intervenções possíveis. Ainda conforme os autores, ao adotar técnicas que aumentam a conectividade, automatizam e digitalizam os processos dentro da operação, pode-se permitir uma maior flexibilização das cadeias e, conseqüentemente, aumentar o potencial produtivo, transformando tais mudanças em impactos financeiros, sustentáveis e de segurança nos processos.

Implementar o conceito de indústria 4.0 com sucesso na operação da empresa depende de uma preparação prévia e um estudo detalhado sobre as mudanças que podem ou não acontecer, pois adotar uma tecnologia incorreta pode prejudicar a saúde da empresa e causar sérios prejuízos (Hanauer *et al.*, 2024; Schreiber, 2022). Além disso, destacam Oliveira *et al.* (2024) que o uso sistemático de ferramentas tecnológicas de gestão contribui para o desenvolvimento de uma cultura inovadora dentro da organização.

Dentre às tecnologias da indústria 4.0 disponíveis, podemos citar os CPS (sistemas ciberfísicos), IoT (internet das coisas), computação cognitiva, controle de sistemas baseados no banco de dados apropriado (big data), entre outros, cada um com sua funcionalidade e peculiaridade dentro da operação. (Chen *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2023; Schreiber, 2022).

Conforme os autores, destacam-se quatro tecnologias centrais da Indústria 4.0: (i) Sistemas Ciberfísicos (CPS), que integram componentes físicos e digitais em redes conectadas, viabilizando maior produtividade e resposta rápida a falhas; (ii) Internet das Coisas (IoT), voltada à conectividade e à troca contínua de dados entre dispositivos; (iii) Computação Cognitiva, baseada em inteligência artificial e aprendizado de máquina para decisões

descentralizadas; e (iv) *Big Data*, responsável pelo processamento de grandes volumes de dados em alta velocidade, apoiando decisões mais assertivas. Essas tecnologias operam de forma integrada, dependentes da combinação entre sistemas digitais, sensores inteligentes, dados em nuvem e recursos de inteligência artificial.

Nodari *et al.* (2025) complementam ainda que a digitalização amplia o alcance de inovações em cenários de limitações de recursos, embora traga desafios como exclusão digital e necessidade de infraestrutura adequada. De uma maneira geral, nenhuma das tendências tecnológicas da I4.0 consegue operar de forma independente, pois os computadores, materiais e máquinas inteligentes se comunicam, interagem com o ambiente e são capazes de eventualmente tomar decisões sem a necessidade de intervenção humana, ou com o mínimo de intervenção possível (Garrido *et al.*, 2024; Ghobakhloo, 2020).

Apesar desse potencial, a adoção dessas tecnologias em pequenas indústrias ainda parece ocorrer de forma gradual e, muitas vezes, não estruturada, o que reforça a necessidade de diagnósticos operacionais que permitam identificar oportunidades reais de aplicação, como proposto neste estudo.

3. METODOLOGIA

Neste estudo é utilizada uma pesquisa descritiva, com abordagem qualitativa, com método de estudo de caso único realizado em uma indústria química localizada no sul do País Brasil (Gil, 2008; Malhotra, 2019). De acordo com Yin (2015), os métodos de estudo de caso devem seguir um protocolo baseado em quatro seções fundamentais, sendo elas: (i) seção A, contemplando uma visão geral do estudo de caso, com objetivos e circunstâncias favoráveis; (ii) seção B, com os procedimentos de coletas de dados identificando prováveis fontes de dados e credenciais para contatos de campo; (iii) seção C, com questões de coletas de dados específicas que o pesquisador deve ter em mente e; (iv) seção D, com um guia para o relatório do estudo de caso. Seguindo este protocolo, poder-se-á manter o alvo sobre o tópico do estudo e preparar o pesquisador para futuros problemas, evitando descompassos a longo prazo.

Conforme recomenda-se para um estudo de caso único, a pesquisa foi estruturada com base na triangulação de fontes de evidências empíricas, visando ampliar a consistência analítica

e a credibilidade dos achados. Sendo assim, foram adotadas três técnicas de coleta de dados: (i) entrevistas em profundidade; (ii) análise documental e; (iii) observação sistemática não participante (Demo, 2022; Malhotra, 2019; Prodanov & Freitas, 2013; Yin, 2015).

3.1 COLETA DE DADOS

As entrevistas em profundidade tiveram o objetivo de entender como funciona a operação da empresa atualmente, quais são os processos operacionais existentes, os maquinários e equipamentos utilizados nos processos, as tecnologias disponíveis, os investimentos realizados, enfim, esclarecer para o pesquisador o modo de operar da empresa e o histórico recente de atividades, bem como o entendimento dos entrevistados sobre a operação atual e sobre as tecnologias e oportunidades que poderiam ser agregadas.

Para a aplicação da entrevista foi desenvolvido um roteiro de questões elaboradas com base nos conceitos apresentados na revisão teórica. Todas as entrevistas foram gravadas e transcritas. Na empresa estudada atuam onze colaboradores, distribuídos nos setores administrativo, industrial e comercial. Neste estudo, as entrevistas foram realizadas com dois profissionais considerados estratégicos, sendo eles o químico responsável pelo setor industrial e o diretor de planejamento estratégico, ambos com ampla experiência e conhecimento sobre os processos operacionais e decisórios da empresa. O atual gestor da empresa não estava disponível e, portanto, não pôde ser entrevistado.

As duas pessoas entrevistadas são homens, com idades de 30 e 60 anos e atuam na operação da empresa há 9 anos e há 7 anos, respectivamente. Os entrevistados foram identificados pelas siglas C1 e C2 no decorrer do trabalho. As entrevistas com o químico e com o diretor foram realizadas nos dias 23 de junho de 2023 e 28 de julho de 2023, nas dependências da empresa, com duração de aproximadamente 40 minutos cada uma. Ambas as entrevistas foram gravadas utilizando o *smartphone* do pesquisador e posteriormente transcritas.

Em relação à análise documental, elaborou-se um *checklist* de itens visando nortear a coleta dos dados e verificar a existência, o conteúdo e a função analítica de cada documento. Esta etapa constitui uma fonte central de evidência empírica, permitindo confrontar e complementar as informações obtidas nas entrevistas. Os arquivos disponíveis foram

providenciados pela empresa e baseavam-se em registros internos, como sistemas de gestão, relatórios operacionais e documentos técnicos, com o objetivo de compreender o funcionamento da operação e identificar possíveis lacunas.

Complementarmente, realizou-se a observação sistemática não participante, conduzida de forma planejada durante as visitas às dependências da empresa, entre junho e julho de 2023, sendo estruturada, não disfarçada, natural e pessoal (Malhotra, 2019). Essa técnica permitiu observar diretamente o *layout* produtivo e a dinâmica operacional, incluindo a disposição dos equipamentos, fluxos produtivos e práticas organizacionais. As observações foram registradas em notas de campo e utilizadas como evidência empírica adicional, reforçando a triangulação dos dados e reduzindo a dependência exclusiva dos discursos dos entrevistados.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados empíricos deste estudo, optou-se pela técnica de análise de conteúdo, conforme Bardin (2011). A análise de conteúdo se aplica para analisar discursos muito diversificados ou com uma enorme quantidade de informação, buscando classificá-las por meio de uma categorização. Neste estudo, a análise orientou-se por três etapas principais: pré-análise, análise (exploração do material e tratamento) e interpretação dos resultados.

A etapa de pré-análise contou com a elaboração do roteiro de perguntas e *checklist* dos itens, bem como a estruturação das ideias principais. Realizou-se a leitura flutuante das transcrições, documentos e registros de observação, bem como à definição das categorias analíticas. As categorias foram previamente estabelecidas com base nos objetivos do estudo e na revisão teórica, sendo elas: (i) a situação atual dos processos operacionais; (ii) alternativas para inovar determinados processos operacionais e; (iii) viabilidade de inovar os processos operacionais a partir da adoção de determinadas tecnologias da indústria 4.0;

Na etapa de exploração do material (análise), os dados foram codificados e classificados de acordo com as categorias de análise, buscando identificar convergências e divergências entre as diferentes fontes de evidência. Esta etapa baseou-se principalmente na organização dos gráficos e sintetização das respostas obtidas. Por fim, na etapa de tratamento e interpretação, os resultados foram analisados de forma integrada, articulando as evidências empíricas com o

referencial teórico, permitindo a construção de inferências analíticas e proposições relacionadas à inovação de processos no contexto estudado.

3.3 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Embora o estudo esteja baseado em um único caso e em um número limitado de entrevistas, a adoção de múltiplas fontes de evidência (entrevistas, documentos e observação) contribuiu para fortalecer a consistência analítica da pesquisa. Essa estratégia permitiu reduzir vieses associados à percepção individual dos entrevistados e ampliar a compreensão do fenômeno investigado, atendendo aos critérios de rigor qualitativo recomendados para estudos de caso exploratórios e descritivos (Bardin, 2011; Demo, 2022; Yin, 2015).

Os dados desta pesquisa foram coletados entre junho de 2023 e julho de 2023, e a análise dos dados ocorreu entre junho e agosto de 2023. Na sequência, a tabela 1 sintetiza as categorias de análise e as respectivas perguntas de cada uma delas:

Tabela 1
Categorias de análise

Categoria de análise	Pergunta realizada na entrevista	Itens do <i>checklist</i> documental	Itens da observação não participante
Situação atual dos processos operacionais	1. Quais são os processos operacionais da empresa, desde a entrada do pedido até a entrega do produto para o cliente?	Organograma	Fluxo real do processo produtivo, da disposição física dos equipamentos, da interação entre setores e do uso prático de sistemas e controles ao longo das etapas operacionais.
	2. Quais tipos de máquinas e equipamentos são utilizados no processo operacional?	Fluxogramas	
	3. Quais técnicas e ferramentas de gestão de produção são utilizadas no processo operacional?	Manuais de gestão da qualidade	
	4. Quais tecnologias digitais/ de conectividade/ da indústria 4.0 são utilizadas atualmente no processo operacional?	Manuais operacionais POP's	
Alternativas para inovar determinados	5. Quais etapas do processo operacional seriam beneficiadas a partir da adoção das tecnologias da indústria 4.0, sob a	Sistemas internos de registros e de controles	Identificação de gargalos, pontos de espera, atividades manuais e momentos de

processos operacionais	perspectiva de maior eficiência, produtividade, redução de custos, sustentabilidade?	Critérios utilizados no processo decisório	comunicação informal entre setores, evidenciando oportunidades de melhoria e inovação nos processos.
Viabilidade de inovar os processos a partir da adoção de tecnologias da I4.0	6. Que tipo de inovações de processo e de produto ocorreram na empresa nos últimos cinco anos? 7. Quais foram os motivos das inovações serem implementadas?	Investimento em inovação de produtos e processos Novas máquinas e equipamentos	Registro de evidências práticas das inovações já implementadas, dos impactos no fluxo operacional e da adequação das tecnologias à realidade produtiva da empresa.

Nota. Dados da pesquisa (2023)

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

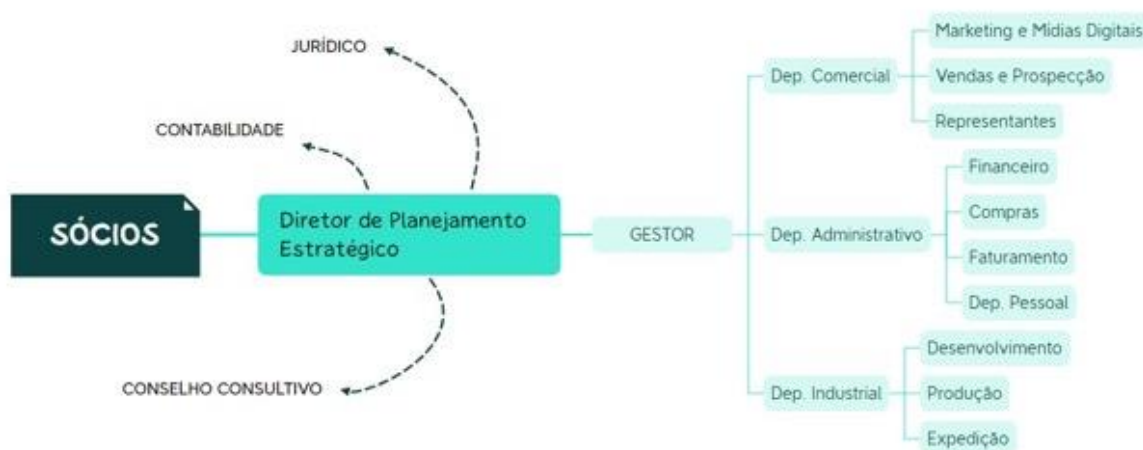
Neste tópico são descritos como ocorre a operação e a inovação dos processos operacionais da empresa.

4.1 A OPERAÇÃO DA EMPRESA ANALISADA

Para entender melhor sobre o funcionamento da empresa e como o processo decisório e a organização das tarefas são estruturados, é interessante analisar o organograma empresarial, o qual foi fornecido pela empresa e faz parte do conjunto de documentos recebidos para análise.

Na figura 1 apresenta-se o organograma atual da empresa analisada:

Figura 1
Organograma da empresa



Nota. Dados da pesquisa (2023)

Percebe-se pela análise do documento que foi fornecido que existe uma hierarquia bem estruturada, começando pelos sócios, seguido pelo diretor de planejamento estratégico e, na sequência o gestor, que faz toda a gestão da operação e controla o funcionamento integral da empresa. Percebeu-se que na empresa existem bem definidas as três funções centrais no seu organograma (marketing, produção e desenvolvimento), comprovando que existe uma preocupação com vendas, satisfação do cliente e melhorias constante (Battiston *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2024).

Embora a estrutura organizacional se apresente formalmente definida, observa-se que essa organização não se traduz, necessariamente, em uma integração operacional eficiente, o que pode limitar a capacidade de resposta da empresa frente a demandas produtivas e decisões relacionadas à inovação de processos.

Em relação ao processo decisório, cabe ao gestor definir a execução das ações, com base em três critérios centrais: urgência e necessidade, viabilidade de implementação sustentada por dados e viabilidade financeira. As decisões seguem uma lógica sequencial, iniciando pela avaliação da urgência, seguida da análise técnica e, por fim, da viabilidade financeira, sendo formalmente aprovadas pelo gestor quando atendidos esses critérios. Esses mesmos critérios também são utilizados nas decisões de investimento em inovação de produtos e processos e decisões de investimento em máquinas e equipamentos, confirmando o que expressa a teoria, de que com estratégias e critérios bem definidos, a gestão dos recursos tende a ser mais eficaz (Heizer *et al.*, 2020; Petrillo *et al.*, 2025; Zoni & Bustamente, 2025).

Para entender melhor sobre o processo como um todo, como parte da análise documental, a empresa disponibilizou um fluxograma do processo produtivo, exemplificando como funciona a operação de produção atualmente. A figura 2 ilustra o fluxograma recebido:

Figura 2
Fluxograma do processo produtivo



Nota. Dados da pesquisa (2023)

No processo apresentado na figura 2, conforme relatado pelo químico responsável, quando a etapa é aprovada no item 5 (controle de qualidade), a próxima etapa é o envase, que é realizada de maneira manual, sem maquinários específicos e o qual pode levar de duas a três horas, dependendo do produto e da quantidade que está sendo produzida. Posteriormente a isso, é liberado para a expedição e somente após dar entrada na expedição, é encaminhado para o setor de faturamento para dar início aos processos seguintes.

A literatura aponta que a principal tarefa de uma operação bem estruturada é transformar o pedido do cliente e um entrega, trajeto este exemplificado na figura 2, com o recebimento de matéria prima, passando pelo desenvolvimento do produto, envolvendo a cadeia de suprimentos, os fornecedores, controle de qualidade, entrada na expedição e assim por diante até a entrega final para o cliente, impactando diretamente na atividade da empresa como um todo (Ferreira *et al.*, 2025; Roselli & Almeida, 2025; Sirtuli *et al.*, 2025).

No entanto, o fluxograma evidencia um ponto crítico da operação, no qual a dependência de atividades manuais impacta diretamente o tempo de ciclo e a eficiência

produtiva. Tal característica indica uma limitação, especialmente em um contexto que demanda por maior agilidade e integração de processos.

As evidências provenientes da observação não participante corroboram as informações obtidas nas entrevistas e nos documentos analisados, permitindo compreender o funcionamento real da operação para além de sua representação formal. Observou-se, na prática, a sequência das etapas produtivas, a disposição física dos equipamentos e a interação entre os setores, bem como a presença de atividades manuais e pontos de espera. Esses achados dialogam com a literatura de gestão de operações, que destaca a importância de analisar o processo real, e não apenas o processo prescrito, para identificar ineficiências e oportunidades de melhoria (Heizer *et al.*, 2020). Além disso, a identificação desses elementos no ambiente real reforçou a existência de ineficiências não formalizadas, que tendem a não ser capturadas apenas por instrumentos formais de gestão, evidenciando a importância da análise empírica para o diagnóstico operacional.

Para que a operação funcione corretamente de acordo com o que foi informado no fluxograma da figura 2 e de acordo com as informações que a empresa forneceu, são imprescindíveis algumas máquinas e equipamentos, conforme ilustrado na tabela 2:

Tabela 2
Relação de máquinas e equipamentos

Máquinas e equipamentos	Setor/Local
Balança; bomba elétrica; reatores; paleteira	Industrial
Reator de bancada; viscosímetro; pincéis; pistola <i>spray</i> ; pistola de calor; lâmpada <i>flash</i> ; prensa; dinamômetro; densímetro; estufa;	Laboratório
Computador; <i>smartphones</i> ; impressora; telefone fixo; tripé de led;	Administrativo

Nota. Dados da pesquisa (2023)

As respostas dos entrevistados evidenciam que o uso de máquinas e equipamentos é segmentado conforme os setores da empresa. No setor produtivo, destacam-se equipamentos como balança, bomba elétrica, reatores e paleteira, enquanto no laboratório concentra-se a maior diversidade de instrumentos, incluindo reator de bancada, viscosímetro, pincéis e pistola *spray*. No setor administrativo, foram mencionados materiais de escritório de uso cotidiano.

Em relação às técnicas e ferramentas de gestão da produção, ambos os entrevistados destacaram a utilização de um sistema ERP e de um sistema próprio de gerenciamento da

produção, desenvolvido especificamente para a empresa. Adicionalmente, o entrevistado C1 mencionou uma tabela de controle de qualidade utilizada como referência para os procedimentos de viscosidade, enquanto o entrevistado C2 apontou a existência de um sistema *online* voltado à integração entre os setores.

De forma sintética, identificou-se que a empresa utiliza quatro ferramentas de gestão para suporte ao processo operacional: (i) um sistema de gestão integrada, voltado à integração entre setores e utilizado principalmente para emissão de notas fiscais, cálculos financeiros e formação de preços; (ii) um sistema próprio, desenvolvido especificamente para a empresa, destinado à integração de informações industriais, como formulações, matérias-primas e ordens de produção; (iii) planilhas em Excel, amplamente empregadas como principal instrumento de controle operacional; e (iv) um sistema *online* integrado, utilizado para delegação de tarefas, distribuição de funções e acompanhamento da produtividade da equipe.

Além das ferramentas de gestão adotadas, a empresa utiliza um documento interno similar a um Procedimento Operacional Padrão, denominado Ordem de Produção (OP), no qual são especificados os insumos e suas respectivas quantidades, funcionando como referência para a fabricação dos produtos e como instrumento de controle interno. A partir do *checklist* documental, identificou-se a inexistência de um manual padronizado de controle de qualidade, evidenciando que, apesar da presença de diferentes ferramentas de gestão, existe uma fragmentação no uso dessas tecnologias, o que pode comprometer a integração das informações e limitar o potencial de otimização dos processos operacionais (Barbieri & Scot, 2025; Beier *et al.*, 2020; Garrido *et al.*, 2024; Ghobakhloo, 2020; Nodari *et al.*, 2025).

Na sequência, visando uma contextualização com as tecnologias e com a inovação, foi perguntado sobre quais tecnologias digitais e de conectividade da indústria 4.0 já são utilizadas no processo operacional. Identificou-se uma certa preocupação por parte dos entrevistados, os quais não possuíam domínio absoluto sobre o tema, mas com alguns exemplos indiretos conseguiram responder à pergunta. A tabela 3 resume as tecnologias da indústria 4.0 identificadas dentro da operação e onde estão sendo utilizadas atualmente:

Tabela 3

Tecnologias identificadas

Descrição da tecnologia	Pertence à I4.0? Tecnologia
-------------------------	-----------------------------

Armazenamento de dados em nuvem	SIM	BIG DATA
Sistema de monitoramento de alarme e câmeras com acesso via celular	SIM	IOT
Sensor de desligamento de máquina automático	NÃO	-
Ligar e desligar lâmpadas remotamente	SIM	IOT
Site online para geração de conteúdo	SIM	AI
Sensor de nível de caixa d'água com alarme e acionamento de lâmpada	SIM	CPS
Sensor de presença para lâmpadas	NÃO	-

Nota. Dados da pesquisa (2023)

Para Chen *et al.* (2020) e Cordeiro *et al.* (2023), a I4.0 (Indústria 4.0) é a capacidade de integrar os sistemas durante as etapas do processo de produção, aumentando a conectividade, automatizando e digitalizando processos e permitindo assim uma maior flexibilização das cadeias e um significativo aumento produtivo.

Um dos exemplos de integração identificados foi a internet das coisas (IOT), que é uma tecnologia pertencente ao grupo de tecnologias da I4.0, é utilizada dentro da empresa através do controle e acionamento do alarme empresarial remotamente via internet, mas os entrevistados não sabiam que essa ferramenta pertencia à 4.0. Outro exemplo que segue no mesmo padrão é o armazenamento e processamento de dados em alta escala em nuvem, que é o caso da *big data*, outra ferramenta utilizada, confirmando a teoria proposta (Cañas *et al.*, 2021; Hanauer *et al.*, 2024; Schreiber, 2022).

No entanto, esses achados evidenciam um desalinhamento entre o uso prático de tecnologias digitais e o reconhecimento estratégico de seu potencial, indicando um nível de maturidade tecnológica ainda incipiente. Tal cenário pode limitar a capacidade da empresa de explorar plenamente os benefícios da Indústria 4.0 de forma estruturada.

A partir da identificação sobre as tecnologias utilizadas no processo atual, o direcionamento da entrevista foi justamente para como as etapas do processo operacional poderiam ser beneficiadas a partir da adoção das tecnologias da I4.0, trazendo o ponto de vista para uma maior eficiência, produtividade, redução de custos e sustentabilidade. Na sequência, a tabela 4 apresenta a resposta dos entrevistados:

Tabela 4

Etapas e processos beneficiados

Entrevistado	Quais etapas seriam beneficiadas a partir da adoção das tecnologias da indústria 4.0, sob a perspectiva de maior eficiência, produtividade, redução de custos e sustentabilidade?
--------------	---

C1	Utilizar o mesmo mecanismo do sistema de monitoramento (acesso remotamente via internet no smartphone) para ligar, desligar e programar os reatores, podendo assim organizar turnos noturnos para otimizar a produção e o consumo de energia.
C2	Sistema de acompanhamento em tempo real sobre o que se está produzindo em cada reator, através de painéis e integração com o sistema, otimizando tempo e aumentando a produtividade.

Nota. Dados da pesquisa (2023)

Para a adequada interpretação dos dados apresentados na Tabela 4, é necessário considerar que as respostas refletem o nível de conhecimento dos entrevistados sobre as tecnologias da Indústria 4.0. Conforme indicado pelo entrevistado C2, a adoção de *IoT* possibilitaria o monitoramento em tempo real da produção, substituindo o controle atualmente realizado de forma manual, que depende da comunicação presencial do operador sobre o estágio do processo produtivo. Essas informações contrastam o conceito de que os tipos mais importantes de inovação são as inovações em processos e produtos, pois as duas opções de processos beneficiados apresentados impactam diretamente no processo de fabricação de novos produtos (Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020).

Além disso, a observação reforçou as percepções dos entrevistados ao evidenciar gargalos operacionais, tempos de espera e dependência de comunicação manual entre setores. Esses elementos observados convergem com os registros documentais e indicam oportunidades concretas para a inovação de processos. Tais evidências estão alinhadas à literatura sobre inovação operacional, que aponta que a identificação de ineficiências no fluxo produtivo constitui um ponto de partida fundamental para a geração de inovações incrementais orientadas à eficiência e produtividade (Marcone, 2025; Schur *et al.*, 2025).

É possível concluir, portanto, que as oportunidades de inovação apontadas estão diretamente associadas à redução de dependência de processos manuais e à melhoria da comunicação entre etapas produtivas. Esse padrão reforça que os gargalos identificados não estão apenas relacionados à tecnologia disponível, mas à forma como os processos estão estruturados e integrados.

4.2 INOVAÇÃO DOS PROCESSOS OPERACIONAIS

A inovação pode ser considerada qualquer tipo de mudança ou alteração, visto que não se pode fazer nada de maneira idêntica. Por ser uma inovação e por se tratar de algo novo, essa

transformação pode-se tornar uma vantagem competitiva, pois reinventar-se é um dos determinantes mais importantes de uma empresa (Shonubi, 2025).

Diante desse contexto de inovação, foi questionado na entrevista a respeito das inovações de processos e de produto que aconteceram na empresa nos últimos cinco anos e quais foram os motivos dessas inovações terem sido implementadas. As respostas são apresentadas na tabela 5:

Tabela 5
Inovações nos últimos 5 anos

Inovações nos últimos 5 anos	Motivos da inovação
Aquisição de MP inovadoras	Busca por novos mercados e melhorar o desempenho do produto
Criação do setor de marketing	Expansão da marca
Descarte de embalagens e emissão de MTR's (Manifestos de Transporte de Resíduos)	Descarte correto de resíduos e sustentabilidade
Implementação da logística reversa	Descarte correto de resíduos e sustentabilidade
Informatização da assistência técnica	Melhorar o atendimento aos clientes
Novos canais de atendimento	Melhorar o atendimento aos clientes e busca por novos mercados
Renovação do layout do escritório	Melhorar a produtividade da equipe
Troca de lâmpadas para LED	Redução de custos de energia

Nota. Dados da pesquisa (2023)

A análise das respostas indica que a empresa passou por transformações em diferentes dimensões. No campo da sustentabilidade, destacam-se a adoção da logística reversa e o descarte adequado de resíduos. No âmbito comercial e digital, houve a ampliação dos canais de venda, a criação do setor de marketing e a implementação de uma loja virtual. Já na esfera industrial, observaram-se iniciativas como a substituição de lâmpadas por LED para eficiência energética, a informatização do controle de assistência técnica, o uso de *tablet* com armazenamento em nuvem para acompanhamento em tempo real das atividades e a busca por matérias-primas mais inovadoras e tecnológicas.

Pela perspectiva de inovação dos processos, a literatura recomenda primeiramente gerar a ideia para então resolver os problemas a partir de uma solução tecnológica ou uma invenção, partindo para a implementação e, por fim, impactar significativamente os resultados da

empresa, sempre visando a inovação de processos (Bartuseviciene *et al.*, 2025; Marcone, 2025; Silva *et al.*, 2020). No entanto, esse processo nem sempre ocorre de forma linear em pequenas empresas, sendo frequentemente condicionado por limitações de recursos, conhecimento técnico e capacidade de investimento, o que pode dificultar a transição da ideia para a implementação efetiva.

A observação direta do ambiente organizacional permitiu identificar evidências práticas das inovações já implementadas, como adaptações no *layout*, incorporação de novas rotinas operacionais e uso de tecnologias digitais de apoio. Esses registros observacionais complementam as entrevistas e os documentos analisados, contribuindo para a avaliação da viabilidade de novas inovações a partir da realidade produtiva da empresa. Esse achado dialoga com estudos sobre Indústria 4.0, que ressaltam que a adoção de tecnologias digitais tende a ocorrer de forma gradual e adaptada ao contexto organizacional, especialmente em empresas de menor porte (Beier *et al.*, 2020; Ghobakhloo, 2020; Hanauer *et al.*, 2024).

No entanto, apesar dos avanços identificados, observa-se que as inovações implementadas apresentam caráter predominantemente incremental e adaptativo, o que sugere uma limitação na capacidade da empresa de desenvolver inovações mais estruturadas ou orientadas por tecnologias digitais avançadas.

Relacionando os conceitos dos autores (Ulgen & Forslund, 2025; Santos *et al.*, 2018), pode-se representar a tecnologia em três categorias (física, através de máquinas e equipamentos; humana, através das habilidades e experiências e; organizacional, pelos sistemas de produção e procedimentos de qualidade), entende-se que a inovação de processos na empresa analisada pode acontecer tanto no âmbito físico, implementando algum tipo de maquinário de ponta, quanto no âmbito de procedimentos, alterando alguns costumes e tentando refazer algumas rotinas e processos de uma maneira diferente.

De acordo com Bartuseviciene *et al.* (2025) e Marcone (2025), tendo posse da ideia, que neste caso seria “implementar um sistema de acompanhamento em tempo real do processo produtivo”, conforme a tabela 5, a próxima etapa seria resolver o problema a partir de uma solução tecnológica (IOT) para então partir para a implementação. No entanto, conforme Ghobakhloo (2020), a implementação da IOT pode depender da integração com algum outro tipo de inteligência artificial, sensores inteligentes ou dados em nuvem. De acordo com a tabela

3, já é utilizado na empresa os dados em nuvem (*big data*), facilitando, de certa forma, a implementação da IOT para otimizar os processos de produção, conforme a ideia inicial gerada.

Na sequência, a figura 3 ilustra como seria a inovação do processo de produção a partir da implementação da IOT, utilizando como suporte a *big data*. No entanto, é necessário enfatizar que embora a proposta apresente potencial significativo de otimização, sua implementação depende de condições estruturais específicas, como a disponibilidade de infraestrutura tecnológica adequada, integração entre sistemas, capacitação da equipe e investimentos financeiros. A ausência desses elementos pode comprometer a efetividade das soluções propostas ou limitar sua aplicação prática.

Figura 3
Fluxograma com inovação



Nota. Dados da pesquisa (2023)

Conforme ilustrado na Figura 3, a implementação de *IoT* e *Big Data* permitiria antecipar etapas como faturamento, emissão de notas fiscais, impressão de etiquetas e agendamento de coletas, otimizando o tempo dos colaboradores e aumentando a eficiência e a agilidade no preparo e no embarque dos produtos. Diferentemente do processo atual, marcado pela espera de atualizações manuais, o monitoramento em tempo real possibilitaria que, ao final do controle de qualidade, a equipe de faturamento já se organizasse para preparar o pedido e agendar a coleta com a transportadora. Segundo os entrevistados, esse ganho de tempo (estimado em até quatro horas) viabilizaria o agendamento da coleta no mesmo dia, reduzindo prorrogações e atrasos na entrega ao cliente. No entanto, vale destacar que tais ganhos estão condicionados à

correta implementação e ao alinhamento entre tecnologia e processos organizacionais, sendo necessário considerar possíveis resistências à mudança, adaptações operacionais e a necessidade de reestruturação de rotinas internas.

A inovação dos processos operacionais nas indústrias configura-se como um desafio recorrente. Os achados deste estudo convergem com pesquisas anteriores, especialmente a de Santos *et al.* (2018), ao indicar que, apesar das incertezas relacionadas às estratégias de desenvolvimento no Brasil, as empresas vêm adotando tecnologias avançadas com o objetivo de reduzir custos e ampliar a eficiência operacional. Os autores também ressaltam desafios significativos no contexto industrial brasileiro, sobretudo de natureza intelectual, como a falta de domínio tecnológico, a escassez de mão de obra qualificada e os impactos culturais que afetam o desempenho das implementações.

Dessa forma, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 deve ser compreendida não apenas como uma decisão tecnológica, mas como um processo organizacional complexo, que envolve fatores técnicos, humanos e estratégicos, exigindo planejamento e adaptação contínua.

De forma complementar, Zezulka *et al.* (2022) destacam que o desenvolvimento de padrões é essencial para o adequado funcionamento da Indústria 4.0, sendo a pesquisa e a conscientização condições prévias para o aprimoramento das operações. A implementação dos conceitos da Indústria 4.0 pode enfrentar diversos problemas, o que corrobora a perspectiva de Cañas *et al.* (2021), segundo a qual a falta de compreensão do conceito pode gerar confusões, levando empresas a associá-lo equivocadamente a investimentos tecnológicos desnecessários.

6. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo diagnosticar os processos operacionais em relação às tecnologias da indústria 4.0 pela perspectiva de inovação de processos. A pesquisa justifica-se pela crescente relevância do tema tanto no meio acadêmico quanto no contexto empresarial, especialmente no que se refere à inovação de processos operacionais como estratégia para redução de custos e melhoria do desempenho organizacional. Do ponto de vista científico, o estudo contribui ao avançar na compreensão da relação entre Indústria 4.0 e inovação de processos em pequenas empresas, evidenciando como a adoção, ainda que não estruturada, de

tecnologias digitais pode influenciar a dinâmica operacional e a identificação de oportunidades de melhoria. Para a organização analisada, os resultados oferecem subsídios para a identificação de oportunidades de inovação e mitigação de gargalos operacionais.

A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, com coleta de dados realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com o responsável técnico químico e o diretor de planejamento estratégico da empresa. Complementarmente, foram utilizados documentos e registros internos disponibilizados pela organização, além de observação sistemática não participante conduzida pelo autor. Os dados coletados foram tratados por meio de análise de conteúdo, permitindo a interpretação das informações obtidas de forma integrada.

Os resultados evidenciaram o funcionamento dos processos operacionais desde o recebimento do pedido do cliente até o embarque do produto final, identificando máquinas, equipamentos, técnicas de gestão, tecnologias utilizadas e gargalos existentes. Observou-se que a empresa já fazia uso de algumas tecnologias associadas à Indústria 4.0, ainda que sem reconhecê-las formalmente como tal. O diagnóstico revelou gargalos relacionados ao tempo e à produtividade, os quais impactam não apenas o processo produtivo, mas também setores como faturamento, expedição e financeiro, gerando ociosidade, redução da eficiência operacional e atrasos no atendimento ao cliente.

Com base nesse diagnóstico, foi sugerida à gestão a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 voltadas à inovação de processos, priorizando o processo produtivo como eixo central. Propôs-se um novo fluxograma com a inserção de tecnologias que possibilitam o monitoramento em tempo real das etapas produtivas, integrando informações via internet das coisas e *big data* em ambiente de nuvem. Essa integração permite maior antecipação das etapas subsequentes, redução de ociosidades e aumento da produtividade organizacional.

O estudo apresenta limitações decorrentes de seu delineamento metodológico, especialmente por se tratar de um estudo de caso único, com número restrito de entrevistados, o que limita a generalização dos resultados. Além disso, a indisponibilidade de alguns documentos e o conhecimento limitado dos participantes sobre as tecnologias da Indústria 4.0 restringiram a amplitude das análises.

Apesar dessas limitações, os achados apontam oportunidades para pesquisas futuras, recomendando-se estudos comparativos com múltiplos casos, a inclusão de abordagens

quantitativas e análises longitudinais que permitam avaliar os impactos da adoção gradual das tecnologias digitais. Sugere-se, ainda, aprofundar a análise das competências técnicas e gerenciais necessárias à Indústria 4.0 e sua relação com a inovação de processos, sustentabilidade e gestão de operações.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- Barbieri, L. M., & Sott, M. K. (2025). Fatores críticos de sucesso na implementação de ERP cloud em PMEs: Um estudo de caso em organizações brasileiras. *REGEPE Entrepreneurship and Small Business Journal*, 14, e2463. <https://doi.org/10.14211/regepe.esbj.e2463>.
- Bardin, L. (2011). Análise de conteúdo. *São Paulo: Almedina*, 280 p. ISBN 978-8562938047.
- Bartuseviciene, I., Butkus, M., & Schiuma, G. (2025). Harnessing antifragility to drive innovation: developing an organizational assessment tool for the public sector. *European Journal of Innovation Management*, 28(11), 242-266. <https://doi.org/10.1108/EJIM-06-2024-0664>.
- Battiston, E., Ren, J., & Mazzi, A. (2025). Sustainable circularity performance indicators to optimize waste management at company level. *Sustainable Futures*, 10, 100897. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100897>.
- Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes—A literature review. *Journal of cleaner production*, 259, 120856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856>.
- Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, 158, 107379. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379>.
- Hanauer, G. de O., Schmidt, S., Bohnenberger, M. C., Schreiber, D., & Viana, L. P. Indústria 4.0 e Inovação de Processos: Diagnóstico Operacional em uma Indústria Química. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas*. V.11, Nº1, p. 158-185, Jan/Abr 2026. Artigo recebido em 11/09/2025. Última versão recebida em 15/03/2026. Aprovado em 22/04/2026.

- Chen, Y., Han, Z., Cao, K., Zheng, X., & Xu, X. (2020). Manufacturing upgrading in industry 4.0 era. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 766-771. <https://doi.org/10.1002/sres.2717>.
- Cordeiro, R. F., Reis, L. P., & Fernandes, J. M. (2023). A hierarchical model for industry 4.0 concepts. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 24, eRAMR230061. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMR230061.en>.
- Demo, P. (2022). *Avaliação qualitativa*. Autores Associados.
- Ferreira A. S., Paula P. P., Couto F. F. & Soares S. M. (2025). Competências empreendedoras e sua relação com a satisfação com o desempenho entre os Micro e Pequenos Empreendedores de Montes Claros – MG. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, 11, (3). <https://doi.org/10.20401/rasi.11.3.883>.
- Garrido, S., Muniz Jr, J., & Ribeiro, V. B. (2024). Operations management, sustainability & industry 5.0: A critical analysis and future agenda. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 10, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100141>.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6a ed.). Editora Atlas SA.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.
- Hanauer, G. O., Schreiber, D., & Viana, L. P. (2024). Tecnologias da indústria 4.0 e seus impactos na operação sustentável das empresas. *Revista Pretexto*, 25(4). <https://revista.fumec.br/index.php/pretexto/article/view/10357>.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management*. Pearson.
- Malhotra, N. K. (2019). *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. Bookman Editora.
- Marcone, M. R. (2025). Sustainable supply chain in a new technological era: the case of the Italian agrifood sector. *European Journal of Innovation Management*, 28(11), 321-348. <https://doi.org/10.1108/EJIM-04-2024-0421>.
- Nodari, C. H., da Silva, C. C., Schmidt, S., da Silva, F., & Silva, A. A. (2025). INTEGRATING FRUGAL INNOVATION AND VALUE CO-CREATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Revista Gestão Organizacional*, 18(2), 69-93. <http://dx.doi.org/10.22277/rgo.v18i2.8387>.
- Oliveira, T. F., Meireles, E., de Frias Castro, G. H., & Molina, G. (2024). FOMENTO À CULTURA INOVADORA DE UMA EMPRESA JÚNIOR POR MELHORES
- Hanauer, G. de O., Schmidt, S., Bohnenberger, M. C., Schreiber, D., & Viana, L. P. Indústria 4.0 e Inovação de Processos: Diagnóstico Operacional em uma Indústria Química. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas*. V.11, Nº1, p. 158-185, Jan/Abr 2026. Artigo recebido em 11/09/2025. Última versão recebida em 15/03/2026. Aprovado em 22/04/2026.

- Petrillo, A., Rehman, M., & De Felice, F. (2025). Optimizing coffee supply chain transparency and traceability through mobile application. *European Journal of Innovation Management*, 28(11), 267-300. <https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2025-0088>.
- Pimazzoni, E. E.; Cirani C. B. S.; Serra F. A.; Scafuto I. C.; Vieira A. C. F. & Costa P. R. (2025). Blockchain no setor elétrico brasileiro: desafios da permissionless innovation. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, 11, (3). <https://doi.org/10.20401/rasi.11.3.1003>.
- Prodanov, C. C., & De Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. Editora Feevale.
- Roselli, L. R. P., & de Almeida, A. T. (2025). Considering Strategic Operational Objectives to Solve a Supplier Selection Problem of a Food Company. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 32(3), e70018. <https://doi.org/10.1002/mcda.70018>.
- Santos, M., Manhães, A. M., & Lima, A. R. (2018). Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. *Anais do X SIMPROD*. <https://ri.ufs.br/handle/riufs/10423>.
- Schreiber, D. (2022). Análise reflexiva acerca das alternativas de redução de custos ambientais por meio da adoção das tecnologias da indústria 4.0 mediadas pelas ferramentas Design Thinking e Cooper's Stage Gate. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4900>.
- Schur, R. D., Sabiá, R., & Trabasso, R. (2025). Modelos de plataforma em pequenos negócios: Um desafio para as empresas maduras. *REGEPE Entrepreneurship and Small Business Journal*, 14, e2482. <https://doi.org/10.14211/regepe.esbj.e2482>.
- Shonubi, O. A. (2025). Innovation challenges of digital transformation: Transitioning legacy to the future. *Sustainable Futures*, 10, 100971. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100971>.
- Silva, S. E., Venâncio, A., Silva, J. R., & Gonçalves, C. A. (2020). Open innovation in science parks: The role of public policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119844. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119844>.
- Sirtulli, R., Zanella, C., Fabris, J., & Conte, A. (2025). INTERAÇÃO DE ATORES DO ECOSISTEMA DE INOVAÇÃO: ESTUDO DE INOVAÇÕES EM PROJETOS EM UMA UNIVERSIDADE. *Revista Gestão Organizacional*, 18(1), 22-45. <http://dx.doi.org/10.22277/rgo.v18i1.7903>.
- Ulgen, V. S., & Forslund, H. (2025). Open innovation supply chain configuration and performance through a proximity lens. *Supply Chain Management: An International Journal*, 30(7), 100-115. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-03-2025-0243>.
- Hanauer, G. de O., Schmidt, S., Bohnenberger, M. C., Schreiber, D., & Viana, L. P. Indústria 4.0 e Inovação de Processos: Diagnóstico Operacional em uma Indústria Química. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas*. V.11, Nº1, p. 158-185, Jan/Abr 2026. Artigo recebido em 11/09/2025. Última versão recebida em 15/03/2026. Aprovado em 22/04/2026.

YIN, Robert K. (2015). *Estudo de caso*. Porto Alegre: Grupo A. E-book. ISBN 9788582602324. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602324/>.

Zezulka, F., Jirsa, J., Venkrbec, L., Marcon, P., Benesl, T., Kaczmarczyk, V., ... & Bradac, Z. (2022). The ideas of industry 4.0: Seven years after. *IFAC-PapersOnLine*, 55(4), 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.024>.

Zoni, L., & Wainer Bustamante, C. (2025). Leveraging on levers of control to learn how to integrate sustainability in management. *Journal of Accounting & Organizational Change*, 21(7), 217-243. <http://dx.doi.org/10.1108/JAOC-02-2024-0064>.

Industry 4.0 and Process Innovation: Operational Diagnostics in the Chemical Industry

ABSTRACT

The aim of this study was to diagnose the operational processes of a chemical company in relation to Industry 4.0 technologies from a process innovation perspective. A qualitative approach was adopted, using a single case study, with data collected through in-depth interviews, document analysis, and non-participant observation. The data was analyzed using contented analysis. The findings indicate that the company employs certain Industry 4.0 technologies, although this are not formally recognizing as such. The operational diagnosis enabled the identification of bottlenecks related to time and productivity, with direct implications for operational performance. Based on these findings, actions were proposed for the implementation and reorientation of Industry 4.0 technologies, particularly real-time monitoring of production processes. These solutions have the potential to reduce waiting times, anticipate operational steps, and generate estimated gains of up to four hours in the production flow. This study contributes the advancing of the relationship between Industry 4.0 and process innovation in small chemical companies, a context that remains underexplored in the literature. It also demonstrates the relevance of qualitative case studies for assessing technological maturity and identify innovation opportunities in small-scale industrial environments.

Keywords: Operations management; Industry 4.0; Innovation; Process innovation; Operational processes.

Industria 4.0 e innovación de procesos: diagnóstico operativo en una industria química

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diagnosticar los procesos operativos de una empresa química en relación con las tecnologías de la Industria 4.0 desde una perspectiva de innovación de procesos. Se adoptó un enfoque cualitativo, mediante un estudio de caso único, y los datos se recopilaban a través de entrevistas en profundidad, análisis documental y observación no participante. Los datos se analizaron mediante un análisis de contenido. Los resultados indican que la empresa

Hanauer, G. de O., Schmidt, S., Bohnenberger, M. C., Schreiber, D., & Viana, L. P. Indústria 4.0 e Inovação de Processos: Diagnóstico Operacional em uma Indústria Química. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas*. V.11, Nº1, p. 158-185, Jan/Abr 2026. Artigo recebido em 11/09/2025. Última versão recebida em 15/03/2026. Aprovado em 22/04/2026.

utiliza ciertas tecnologías de la Industria 4.0, aunque estas no se reconocen formalmente como tales. El diagnóstico operativo permitió identificar cuellos de botella relacionados con el tiempo y la productividad, con implicaciones directas para el rendimiento operativo. A partir de estos resultados, se propusieron medidas para la implementación y reorientación de las tecnologías de la Industria 4.0, en particular la monitorización en tiempo real de los procesos de producción. Estas soluciones tienen el potencial de reducir los tiempos de espera, anticipar los pasos operativos y generar ganancias estimadas de hasta cuatro horas en el flujo de producción. Este estudio contribuye al avance de la relación entre la Industria 4.0 y la innovación de procesos en pequeñas empresas químicas, un contexto que sigue sin estar suficientemente explorado en la literatura. También demuestra la relevancia de los estudios de caso cualitativos para evaluar la madurez tecnológica e identificar oportunidades de innovación en entornos industriales a pequeña escala.

Palabras clave: Gestión de operaciones; Industria 4.0; Innovación; Innovación de procesos; Procesos operativos.