**Trilha**

**Gestão do conhecimento como impulsionador da economia circular na indústria metalmecânica**

*Knowledge management as a driver of the circular economy in the metalworking industry*

**Paulo Caracciolo**

Pós-Graduado. Universidade Federal do ABC (UFABC) – Brasil.

paulo.caracciolo@ufabc.edu.br

**Geraldo Cardoso de Oliveira Neto**

Pós-Doutorado. Universidade Federal do ABC (UFABC) – Brasil.

geraldo.neto@ufabc.edu.br

**RESUMO**

A indústria metalmecânica ainda carece sobre procedimentos de práticas da economia circular, sendo importante a disseminação deste conhecimento. Este artigo tem o objetivo de aplicar um procedimento de gestão do conhecimento para promover práticas de economia circular de nível micro na indústria metalmecânica. O método de pesquisa adotado foi entrevistas com especialistas para identificar o grau de conhecimento sobre as práticas da economia circular e aplicação do modelo de espiral do conhecimento de Nonaka e Takeuchi (1997) para promover a gestão do conhecimento. Os resultados evidenciam que a adoção de práticas circulares nas três empresas analisadas é ainda incipiente, com médias abaixo de 3 pontos numa escala de 1 a 5, indicando um baixo nível de maturidade sustentável. A prática com maior média foi a de redução do uso de água (2,67), seguida pelo uso de materiais renováveis, reusados e reciclados (2,33), e por fim, o uso de energia de fontes renováveis (1,67), que apresentou o menor nível de adoção. Tais dados revelam a ausência de estratégias estruturadas para a circularidade, além de desigualdade entre as empresas quanto ao grau de comprometimento com a sustentabilidade.

A aplicação da espiral do conhecimento demonstrou ser uma abordagem eficaz para transformar experiências tácitas em conhecimento formalizado, disseminado e internalizado, por meio de etapas como externalização, combinação, internalização e socialização. Os resultados reforçam a relevância da gestão do conhecimento como instrumento impulsionador para a implementação de práticas circulares, contribuindo para a aprendizagem organizacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão do conhecimento, Economia circular, Indústria, Metalmecânica.

**ABSTRACT**

The metal-mechanical industry still lacks structured procedures for implementing circular economy practices, highlighting the importance of disseminating this knowledge. This article aims to apply a knowledge management procedure to promote micro-level circular economy practices in the metal-mechanical sector. The research method adopted involved interviews with specialists to assess their level of knowledge regarding circular economy practices and the application of the knowledge spiral model by Nonaka and Takeuchi (1997) to foster knowledge management. The results show that the adoption of circular practices in the three companies analyzed remains incipient, with average scores below 3 on a 1-to-5 scale, indicating a low level of sustainable maturity. The most adopted practice was water use reduction (2.67), followed by the use of renewable, reused, and recycled materials (2.33), and finally, the use of renewable energy sources (1.67), which had the lowest adoption rate. These results reveal the absence of structured strategies for circularity and significant disparities between companies regarding their level of commitment to sustainability. The application of the knowledge spiral proved to be an effective approach for transforming tacit experiences into formalized, disseminated, and internalized knowledge through the stages of externalization, combination, internalization, and socialization. The findings reinforce the relevance of knowledge management as a driving tool for the implementation of circular practices, contributing to continuous organizational learning.

**KEYWORDS:** *Knowledge management, Circular economy, Industry, Metalworking.*

1. **INTRODUÇÃO**

A transformação dos sistemas de gestão empresarial tem sido impulsionada pelas demandas complexas do contexto contemporâneo, caracterizado por avanços tecnológicos acelerados, intensificação dos fluxos globais, comunicação em tempo real e crescente competitividade entre os mercados (SILVA, 2020). Tais características se manifestam de forma particularmente acentuada na indústria metalmecânica, setor que depende fortemente da inovação tecnológica, da especialização da força de trabalho e da busca contínua por eficiência produtiva. Diante dessa conjuntura, torna-se imperativo que as organizações adotem modelos de gestão que articulem a competitividade com a sustentabilidade organizacional no longo prazo (JABBOUR, 2022).

No contexto industrial, particularmente no setor metalmecânico, as iniciativas da economia circular (EC) em nível micro referem-se à implementação de estratégias e práticas sustentáveis nas organizações, visando gerar benefícios ambientais, econômicos e sociais ao reduzir o consumo de materiais e o desperdício associado à atividade econômica (CUEVAS-PICHARDO et al., 2024). A mudança de modelos lineares para circulares requer a reformulação de processos produtivos, o redesenho de produtos e a adoção de tecnologias que tornem possíveis fluxos fechados de materiais. Isso envolve não apenas avanços tecnológicos, mas igualmente transformações culturais, organizacionais e comportamentais por parte das corporações (GEISSDOEFER et al., 2017). Na indústria metalmecânica, o desafio apresentado consiste em reavaliar toda a cadeia de valor, priorizando a eficiência dos recursos, a diminuição das emissões e a criação de valor sustentável a longo prazo (GHISELLINI et al., 2016).

Com isso, as iniciativas de economia circular em escala micro configuram uma resposta tanto estratégica quanto operacional à crescente exigência por sustentabilidade, à implementação de regulamentações ambientais mais severas e à busca por inovações responsáveis. No setor metalmecânico, que utiliza matérias-primas com alto impacto e processos que demandam elevada energia, a adoção da circularidade transcende a condição de uma mera tendência, configurando-se como uma necessidade essencial para assegurar a competitividade ao longo do tempo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Assim, a aplicação da gestão do conhecimento na indústria metalmecânica pode promover práticas da economia circular ao impulsionar a criação, compartilhamento e internalização de saberes técnicos e ambientais que orientem o redesenho de processos produtivos, a reutilização de materiais e a inovação em modelos de negócio sustentáveis (CHOWDHURY et al., 2022).

Nesse processo de adaptação, a gestão do conhecimento se destaca como um elemento estratégico essencial, ao reconhecer o capital humano como vetor central da transformação organizacional (DAVENPORT; PRUSAK, 1998). Os profissionais do setor, detentores de conhecimentos técnicos e tácitos, exercem papel decisivo na assimilação e na implementação de novos paradigmas de gestão (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

Para que isso ocorra de forma eficaz, é indispensável que a liderança nas empresas do setor metalmecânico promova ambientes organizacionais que favoreçam a colaboração, o aprendizado contínuo e a valorização da experiência prática, criando condições para que o conhecimento individual se transforme em ativos coletivos (ALAVI; LEIDNER, 2001; GARVIN, 1993).

Isso implica superar estruturas verticais tradicionais e adotar modelos mais horizontais e participativos, como sugerem autores como Nonaka e Takeuchi (1997), Senge (2006) e Goleman (2009). A promoção da circulação e da aplicação estratégica do conhecimento contribui diretamente para processos de inovação, tanto incremental quanto disruptiva, elementos-chave para a manutenção da competitividade em um setor marcado por rápidas transformações.

A indústria metalmecânica ainda carece de procedimentos consolidados voltados às práticas da economia circular, sendo fundamental a disseminação desse conhecimento para impulsionar transformações sustentáveis no setor (ANTIKAINEN et al., 2018). Embora existam estudos consolidados sobre gestão do conhecimento e separadamente, sobre economia circular, a gestão do conhecimento para promover práticas de economia circular de nível micro ainda é pouco explorada no setor metalmecânico. Assim sugere-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como aplicar um procedimento de gestão do conhecimento para promover práticas de economia circular de nível micro na indústria metalmecânica?

Com isso, o objetivo deste estudo é aplicar um procedimento de gestão do conhecimento para promover práticas de economia circular de nível micro na indústria metalmecânica.

A estrutura do artigo está organizada da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico, com a revisão da literatura sobre dois eixos principais — o papel da gestão do conhecimento e o da economia circular na indústria. A Seção 3 descreve a metodologia adotada. Na Seção 4 são apresentados os resultados e a discussão. Por fim, a Seção 5 traz as considerações finais, destacando os principais achados, implicações, limitações do estudo e recomendações para pesquisas futuras.

1. **REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção apresenta a revisão da literatura sobre gestão do conhecimento e práticas importantes para promover economia circular de nível micro no setor metalmecânico.

**2.1 Gestão do conhecimento**

A organização pode ser compreendida como um sistema dinâmico de aprendizagem, no qual os colaboradores adquirem conhecimento continuamente no desempenho de suas atividades cotidianas, especialmente por meio da interação com colegas e com o ambiente externo. Os grupos organizacionais aprendem à medida que seus membros colaboram para alcançar objetivos comuns, e a organização, como um todo, desenvolve sua capacidade de aprendizagem ao captar feedback do ambiente e antecipar transformações futuras (NONAKA e TAKEUCHI, 1997).

No setor metalmecânico, que se distingue por inovações tecnológicas contínuas, elevada especialização e crescente concorrência, a gestão do conhecimento consolida-se como um componente estratégico para a inovação e a sustentabilidade das organizações (DAVENPORT e PRUSAK, 1998).

**2.1.1 Aprendizagem Organizacional e Vantagem Competitiva**

Nesse contexto, a aprendizagem individual exerce papel fundamental nas práticas de aprendizagem organizacional, pois é a partir dos indivíduos que o conhecimento é inicialmente gerado. Como destacam Nonaka e Takeuchi (1997), “embora utilizemos o termo criação de conhecimento organizacional, a organização não pode criar conhecimento por si só, sem a iniciativa dos indivíduos e a interação que ocorre dentro dos grupos”. O domínio das próprias atividades pelos colaboradores torna-se, assim, um elemento-chave para a melhoria contínua da qualidade de produtos e serviços.

Para que a gestão de pessoas seja eficaz, é essencial compreender os aspectos sociotécnicos dos trabalhadores, sobretudo no que diz respeito à disseminação do conhecimento. Nesse sentido, Nonaka e Takeuchi (1997) propõem um modelo de conversão do conhecimento baseado na interação entre conhecimento tácito e explícito, que orienta a governança organizacional por meio de quatro modos distintos de conversão, conforme ilustrado na Figura 1:

- Conhecimento explícito: aquele que pode ser transmitido de forma objetiva, por meio de linguagem formal e sistemática.

- Conhecimento tácito: de natureza pessoal e subjetiva, resulta da experiência, da intuição, dos insights e das habilidades práticas adquiridas. Trata-se de um tipo de saber informal, difícil de formalizar, comumente identificado como *know-how*.

Figura 1 - Espiral do conhecimento

Diagrama, Desenho técnico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

A conversão do conhecimento dentro das organizações, conforme o modelo de Nonaka e Takeuchi (1997), envolve quatro modos dinâmicos e interdependentes: socialização, externalização, combinação e internalização.

Socialização refere-se à partilha de experiências entre indivíduos, por meio da qual o conhecimento tácito é transferido de forma informal, geralmente pela observação, prática conjunta e convivência.

Externalização é considerada a etapa mais crítica da conversão, pois transforma o conhecimento tácito em explícito por meio de conceitos, metáforas, analogias ou modelos. Essa etapa permite que ideias não verbalizadas se tornem compreensíveis e compartilháveis, constituindo a base para a criação de novos conhecimentos organizacionais.

Combinação consiste na integração de diferentes conjuntos de conhecimentos explícitos, permitindo a reorganização e sistematização de informações através de bancos de dados, documentos e tecnologias da informação.

Internalização ocorre por meio da prática, ou seja, do "aprender fazendo". Quando os membros da organização assimilam novos conhecimentos explícitos e os incorporam ao seu repertório tácito, tais saberes tornam-se parte da cultura organizacional. A cada internalização bem-sucedida, o ciclo de criação do conhecimento é reiniciado, favorecendo a inovação e o aprimoramento contínuo.

Para promover a geração e disseminação do conhecimento, é fundamental que as organizações desenvolvam estratégias de gestão de pessoas alinhadas aos processos e políticas de valorização dos saberes tácitos e explícitos. O objetivo é estimular a criação de novas ideias, facilitar a aprendizagem coletiva e fornecer instrumentos concretos para a tomada de decisão com maior grau de segurança e assertividade. Organizações que adotam essa abordagem são conhecidas como *organizações que aprendem*.

Nesse sentido, Garvin (1993) define a organização que aprende como “uma organização capacitada para criar, adquirir e transferir conhecimentos e modificar seu comportamento de modo a refletir novos conhecimentos e insights”. O autor propõe cinco pilares que sustentam a aprendizagem organizacional:

1. Resolução sistemática de problemas – baseia-se na aplicação de métodos científicos para identificar e tratar problemas, em oposição a decisões baseadas apenas na intuição;
2. Experimentação – envolve a busca contínua e estruturada por novos conhecimentos, geralmente por meio de testes e projetos-piloto;
3. Aprendizagem com a experiência passada – exige a revisão crítica e sistemática das lições aprendidas, tanto em sucessos quanto em falhas;
4. Aprendizagem com o ambiente externo – consiste em absorver experiências de outras organizações, clientes, concorrentes e parceiros para aprimorar práticas internas;
5. Difusão do conhecimento – diz respeito à disseminação sistemática do conhecimento por toda a organização, utilizando treinamentos, manuais, padronizações e outras ferramentas que promovam sua internalização e uso estratégico.

**2.2 Práticas da economia circular nível micro**

O modelo “Resolve” auxilia a transição para a economia circular por meio de seis práticas estratégicas: Regenerar, Compartilhar, Otimizar, Reutilizar, Virtualizar e Trocar. Essas ações visam reduzir desperdícios em diversos setores permitindo a aplicação de ações estratégicas para a implementação de ecossistemas saudáveis. Não são etapas sequenciais, mas práticas interligadas que fortalecem a circularidade, conservar recursos naturais e promover inovação sustentável (MacArthur, 2015). Diversas práticas associadas à economia circular vêm sendo destacadas na literatura recente como essenciais para a transição sustentável da indústria metalmecânica. Entre essas práticas, destaca-se o uso de materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação, considerado um dos pilares para o fechamento do ciclo produtivo e a minimização de resíduos, como é possível observar no quadro 1. Hagedorn et al. (2024) demonstram, por meio de uma avaliação ambiental baseada em fluxos de materiais e análise do ciclo de vida, que a adoção desses materiais contribui significativamente para o estreitamento e o fechamento dos ciclos da economia circular. Da mesma forma, El-Asfoury et al. (2023) reforçam a importância dessa prática ao apontarem sua influência na redução do consumo de recursos primários e na mitigação de impactos ambientais. Complementarmente, Jäger et al. (2021) analisam a aplicação de materiais recicláveis em processos industriais, destacando seus efeitos positivos sobre a eficiência dos recursos e o desempenho ambiental das empresas.

Outra prática fundamental refere-se ao uso de energia proveniente de fontes renováveis nos processos produtivos. Essa transição energética, embora ainda incipiente em muitos setores, tem sido reconhecida como estratégica para a descarbonização da indústria. Ali et al. (2024) evidenciam que a substituição de fontes fósseis por energia limpa não apenas reduz emissões de gases de efeito estufa, mas também melhora a imagem corporativa diante de *stakeholders* mais conscientes. Em linha semelhante, Minh et al. (2025) identificam que o investimento em energia solar e biomassa tem se mostrado viável, principalmente quando combinado com políticas de gestão do conhecimento que promovem a capacitação dos colaboradores e a adoção de práticas energéticas eficientes.

Por fim, a redução do consumo de água nos processos industriais também tem sido amplamente debatida. El-Asfoury et al. (2023) destacam que a gestão eficiente da água, quando integrada às estratégias de circularidade, contribui para aumentar a resiliência hídrica das empresas diante de cenários de escassez. Cuevas-Pichardo et al. (2024) reforçam essa perspectiva ao relacionar a adoção de tecnologias de reuso e recirculação de água com melhorias no desempenho ambiental e na conformidade regulatória. Além disso, Han et al. (2017) apontam que práticas de uso racional da água reduzem significativamente os custos operacionais e promovem maior sustentabilidade no longo prazo.

Quadro 1 – Práticas da economia circular e autores

|  |  |
| --- | --- |
| **Práticas** | **Autor / Ano** |
| Utiliza materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação | Hagedorn et al., (2024); El-Asfoury et al., (2023); Jäger et al., (2021) |
| Usa energia de fontes renováveis na produção. | Ali et al.(2024); Minh et al. (2025) |
| Reduziu o máximo possível o uso de água na produção. | El-Asfoury et al. (2023); Cuevas-Pichardo et al. (2024); Han et al. (2017) |

1. **METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste artigo consistiu na realização de entrevistas com especialistas da indústria metalmecânica. Para definir o grau de utilização das práticas associadas aos princípios de regenerar e otimizar, foi utilizada uma escala ordinal com cinco categorias de resposta, avaliadas pelos gestores conforme os seguintes critérios: (1) não utilizado, (2) pouco utilizado, (3) parcialmente utilizado, (4) frequentemente utilizado e (5) muito utilizado. Essa forma de mensuração permite captar percepções graduais sobre a aplicação das práticas sustentáveis, alinhando-se a estudos que utilizam escalas do tipo Likert para avaliar o nível de adoção de estratégias organizacionais (MALHOTRA, 2011).

No que se refere à natureza metodológica, adota-se uma abordagem qualitativa, com o objetivo de compreender de maneira integrada os processos produtivos e as práticas dos colaboradores no contexto da economia circular (OLIVEIRA, 1999). A abordagem qualitativa é amplamente reconhecida por sua capacidade de interpretar realidades complexas e de gerar conhecimentos aplicáveis à resolução de problemas concretos em ambientes organizacionais (DENZIN; LINCOLN, 2011). Nesse sentido, a entrevista é considerada uma das principais técnicas de coleta de dados em estudos qualitativos, pois permite acessar conhecimentos tácitos, percepções individuais e práticas cotidianas que muitas vezes não estão documentadas formalmente (CRESWELL, 2010).

Segundo Triviños (2008), a entrevista semiestruturada é especialmente eficaz em estudos sociais e organizacionais, por proporcionar um equilíbrio entre a estrutura de um roteiro orientador e a flexibilidade necessária para explorar temas emergentes ao longo do diálogo. Além disso, Yin (2016) destaca que, em estudos de caso, a entrevista representa uma importante fonte de evidência direta, permitindo compreender os fenômenos dentro de seus contextos reais.

Para este estudo, foi elaborado um questionário semiestruturado com perguntas relacionadas à implementação das práticas de economia circular. O procedimento de coleta envolveu o agendamento prévio de entrevistas individuais com data e horário definidos, cada uma com duração média de 15 a 20 minutos. Foram entrevistados três gestores de três empresas de grande porte do setor metalmecânico, todas pertencentes a um mesmo grupo industrial, representado por uma holding. A empresa 1, localizada no interior do estado de São Paulo, conta com 1.580 colaboradores. A empresa 2, situada no estado do Rio Grande do Sul, possui 2.320 funcionários. Já a empresa 3 está localizada na Serra Gaúcha, também no Rio Grande do Sul, com um total de 1.806 colaboradores.

1. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise das práticas associadas à economia circular nas três empresas da indústria metalmecânica revela um baixo grau de adoção de iniciativas sustentáveis, especialmente no que se refere ao uso de materiais e insumos renováveis. Conforme demonstrado na Tabela 1, as médias de utilização das práticas investigadas permanecem abaixo de 3 pontos em uma escala de 1 a 5, indicando uma adoção ainda incipiente dessas estratégias.

Tabela 1 – Resultado das práticas investigadas

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Prática** | **Empresa 1** | **Empresa 2** | **Empresa 3** | **Média** | **Grau de utilização** |
| 1) Utiliza materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação | 4 | 1 | 2 | 2,33 | Pouco utilizado |
| 2) Usa energia de fontes renováveis na produção. | 3 | 1 | 1 | 1,67 | Pouco utilizado |
| 3) Reduziu o máximo possível o uso de água na produção. | 2 | 5 | 1 | 2,67 | Pouco utilizado |
| **Média** | 3,000 | 2,333 | 1,333 |  |  |

A prática com maior média geral foi a redução do uso de água na produção (2,67), impulsionada pelo desempenho da Empresa 2, que atingiu o nível máximo (nota 5) nessa categoria. Ainda assim, a média geral permanece dentro da faixa de “pouco utilizado”, sugerindo que, com exceção de iniciativas pontuais, a eficiência hídrica não constitui uma prioridade consolidada entre as empresas analisadas.

Já o uso de materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação obteve média de 2,33, sendo significativamente impulsionado pela Empresa 1 (nota 4), ao passo que as demais obtiveram notas 1 e 2. Isso indica desigualdade no nível de maturidade circular entre as empresas e a necessidade de ações coordenadas para nivelar práticas sustentáveis.

A prática menos aplicada foi o uso de energia proveniente de fontes renováveis, com média de apenas 1,67, revelando que a transição energética ainda é incipiente no setor. Isso pode ser reflexo de barreiras estruturais, como custos elevados de investimento inicial, falta de incentivos públicos ou desconhecimento técnico sobre soluções energéticas alternativas.

Considerando a média geral de utilização das práticas por empresa, observa-se que a Empresa 1 se destaca (média 3,0), demonstrando maior compromisso com a circularidade, ainda que distante da adoção plena. Em contrapartida, a Empresa 3 apresenta o menor índice (1,33), indicando necessidade urgente de capacitação e adoção de políticas voltadas à sustentabilidade.

* 1. **Aplicação no modelo espiral – Prática: Utiliza materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação**

A aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática de: Utilização de materiais renováveis, reusados e reciclados no processo de fabricação, pode ser conduzida a partir da etapa de externalização, que consiste na conversão do conhecimento tácito em explícito. Nessa fase, os conhecimentos práticos e experiências individuais dos colaboradores, acumulados no cotidiano fabril, são formalizados por meio de registros documentais e sistematizações. A realização de workshops voltados para práticas sustentáveis, com atas, fluxogramas e esquemas dos processos produtivos, permite transformar percepções empíricas em conteúdos compartilháveis. Além disso, a criação de um banco de lições aprendidas se mostra fundamental para organizar e consolidar relatos de experiências, boas práticas, erros evitáveis e soluções adotadas, tornando esse conhecimento acessível para diferentes áreas da empresa. Dessa forma, a externalização contribui para estruturar o saber adquirido nas operações diárias e transformá-lo em referência para a tomada de decisão e a padronização de práticas circulares.

A etapa seguinte é a combinação, na qual diferentes conhecimentos explícitos são reunidos, reorganizados e sistematizados para gerar novos entendimentos e soluções. Nesse sentido, o *benchmarking* interno entre unidades do grupo industrial se apresenta como uma prática estratégica, permitindo o compartilhamento de experiências bem-sucedidas no uso de materiais sustentáveis e sua adaptação a diferentes realidades operacionais. A construção de manuais técnicos, fundamentados em múltiplas fontes de conhecimento – como dados operacionais, normas técnicas, regulamentos ambientais e experiências internas – também fortalece essa etapa, proporcionando diretrizes práticas e atualizadas para os profissionais da indústria. Essa integração de saberes favorece a disseminação de padrões sustentáveis em larga escala e promove ganhos de eficiência na gestão de recursos.

Na sequência, a etapa de internalização representa o momento em que o conhecimento explícito, documentado e sistematizado, é incorporado novamente pelos indivíduos por meio da prática e da experiência. Treinamentos práticos com aplicação imediata são estratégias essenciais para promover essa incorporação, pois possibilitam que os trabalhadores vivenciem, em seus contextos de atuação, a aplicação dos conhecimentos relacionados ao uso de materiais recicláveis e renováveis. A inclusão dessas práticas em rotinas padronizadas e em instruções de trabalho assegura sua consolidação e continuidade no processo produtivo. Além disso, simulações operacionais e atividades de aprendizagem experiencial permitem aos colaboradores refletirem sobre seus próprios desempenhos e aprimorarem suas habilidades.

Por fim, a etapa de socialização retoma a base do conhecimento tácito, ao promover o compartilhamento direto de experiências entre os membros da organização. Rodas de conversa realizadas no chão de fábrica são oportunidades valiosas para que trabalhadores relatem vivências relacionadas ao uso de materiais renováveis, troquem percepções sobre os desafios e fortaleçam vínculos colaborativos. Os grupos de melhoria contínua estimulam o debate de ideias, a análise de problemas reais e o desenvolvimento de soluções coletivas, contribuindo para o enraizamento de uma cultura organizacional voltada à circularidade. A criação de espaços específicos para a troca de “lições aprendidas” também fortalece esse processo, à medida que permite aos colaboradores refletirem criticamente sobre suas práticas e aprenderem com a experiência dos demais, conforme podemos evidenciar no quadro 2.

Quadro 2 – Aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática 1

|  |  |
| --- | --- |
| **(Socialização)** 1. Rodas de conversa no chão de fábrica  2. Grupos de melhoria contínua focados em sustentabilidade  3. Criação de espaços para “lições aprendidas” | **(Externalização)** 1. Realizar *workshops* com registros em ata e fluxogramas  2. Criação de banco de lições aprendidas |
| **(Internalização)** 1. Treinamentos práticos com aplicação imediata2. Integração de práticas sustentáveis em rotinas padronizadas3. Simulações operacionais e atividades de aprendizagem experiencial | **(Combinação)** 1. *Benchmarking* interno entre unidades do grupo industrial  2. Desenvolvimento de manuais técnicos com base em múltiplas fontes |

**4.2 Aplicação no modelo espiral – Prática: Usa energia de fontes renováveis na produção**

A aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática de: Utilização de energia proveniente de fontes renováveis na produção inicia-se pela etapa de externalização. Nesta fase, busca-se converter o conhecimento tácito dos colaboradores – muitas vezes baseado em experiências informais sobre consumo de energia e percepção de desperdícios – em conhecimento explícito, organizado e compartilhável. A sistematização de checklists para eficiência energética representa uma ferramenta essencial para formalizar procedimentos operacionais que favoreçam o uso racional da energia. Esses checklists permitem identificar comportamentos, rotinas e falhas que impactam diretamente o consumo energético, oferecendo orientações claras para os trabalhadores. Complementarmente, o desenvolvimento de gráficos e painéis explicativos que demonstram a geração e o uso de energia limpa proporciona aos colaboradores uma compreensão visual e objetiva dos benefícios da prática, além de evidenciar os resultados alcançados com a transição para fontes renováveis. Esses instrumentos de comunicação fortalecem o engajamento e tornam o conhecimento mais acessível e aplicável no cotidiano da produção.

A terceira etapa, de combinação, permite que o conhecimento explícito existente seja reorganizado, ampliado e transformado em novos referenciais estratégicos. A criação de manuais corporativos sobre transição energética consolida o saber acumulado em diferentes áreas da empresa, reunindo informações técnicas, protocolos operacionais, indicadores de desempenho e boas práticas já aplicadas com sucesso. Esse tipo de documento oferece suporte para a padronização de processos e para a replicação de iniciativas em outras unidades produtivas. Além disso, a atualização das políticas energéticas organizacionais, com base nas práticas e resultados obtidos, contribui para alinhar as diretrizes institucionais à lógica da sustentabilidade. Essa formalização assegura que o uso de energia renovável deixe de ser uma iniciativa isolada e passe a integrar os objetivos estratégicos da organização, influenciando decisões de investimento, compras, produção e manutenção.

Na etapa seguinte, de internalização, o conhecimento formalizado durante a externalização passa a ser incorporado pelos colaboradores por meio de ações práticas. Os treinamentos operacionais, estruturados com base em manuais técnicos e dados energéticos reais da organização, são fundamentais nesse processo. Por meio deles, os trabalhadores desenvolvem competências específicas relacionadas ao uso eficiente da energia e à operação de sistemas que utilizam fontes renováveis, como painéis solares ou caldeiras de biomassa. Mais do que treinar, é essencial integrar a eficiência energética à cultura organizacional, promovendo mudanças de comportamento, valores e atitudes. Quando os princípios de sustentabilidade passam a orientar as decisões cotidianas e são reconhecidos como parte da identidade da empresa, o conhecimento deixa de ser apenas técnico e se torna enraizado na prática e no ethos organizacional.

Por fim, a etapa de socialização completa o ciclo da espiral do conhecimento ao promover a troca de experiências tácitas entre os colaboradores em espaços de convivência e diálogo. As práticas de sensibilização no ambiente fabril – como campanhas visuais, painéis informativos, desafios de economia de energia e dinâmicas educativas – cumprem um papel fundamental ao tornar o tema presente no cotidiano dos trabalhadores, reforçando a importância do engajamento coletivo. Essas ações estimulam conversas informais, geram reflexões espontâneas e despertam nos indivíduos o senso de pertencimento e corresponsabilidade pelos resultados energéticos da empresa. Além disso, contribuem para a criação de um ambiente organizacional no qual o conhecimento sobre sustentabilidade circula livremente, ampliando a capacidade da organização de inovar continuamente, conforme podemos evidenciar no quadro 3.

Quadro 3 - Aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática 2

|  |  |
| --- | --- |
| **(Socialização)**  1. Práticas de sensibilização no ambiente fabril | **(Externalização)**  1. Sistematização de checklists para eficiência energética  2. Desenvolvimento de gráficos e painéis explicativos sobre geração e uso de energia limpa |
| **(Internalização)**  1. Treinamentos operacionais com base em manuais e dados energéticos2. Integração da eficiência energética na cultura organizacional | **(Combinação)**  1. Criação de manuais corporativos sobre transição energética  2. Atualização das políticas energéticas organizacionais |

**4.3 Aplicação no modelo espiral – Reduziu o máximo possível o uso de água na produção**

A aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática de: Reduzir ao máximo o uso de água na produção, inicia-se pela etapa de externalização. Nesse estágio, o objetivo é converter o conhecimento tácito – muitas vezes derivado da experiência prática dos operadores com processos que consomem água – em conhecimento explícito, documentado e comunicável.

A realização de workshops voltados à temática hídrica, com registros formais em ata e representação visual dos processos por meio de fluxogramas, permite mapear os pontos críticos de consumo de água e identificar oportunidades reais de economia. Tais oficinas não apenas formalizam o saber empírico acumulado nos diferentes turnos e setores da produção, mas também favorecem a construção coletiva de soluções. Paralelamente, a criação de um banco de lições aprendidas voltado à gestão hídrica possibilita consolidar e disseminar casos concretos de sucesso, desafios enfrentados e práticas eficazes, servindo de base para treinamentos e tomadas de decisão fundamentadas.

Avançando para a etapa de combinação, o foco passa a ser a organização e reconfiguração do conhecimento explícito, reunido em diferentes áreas da empresa, para gerar soluções sistêmicas e integradas. O benchmarking interno entre unidades do grupo industrial cumpre papel essencial nesse contexto, ao permitir a comparação de desempenhos, processos e resultados no uso de água, favorecendo a identificação de boas práticas e sua replicação em escala. Essa troca sistemática de informações contribui para o aperfeiçoamento contínuo das estratégias de gestão hídrica. Além disso, a criação de protocolos de contingência para situações de escassez hídrica reforça a capacidade da organização de antecipar riscos e adotar medidas preventivas com base em conhecimento técnico consolidado. Esses protocolos, construídos a partir da combinação de saberes diversos, fortalecem a resiliência da empresa frente a cenários de crise hídrica, cada vez mais frequentes no contexto das mudanças climáticas.

Na sequência, a internalização promove a incorporação do conhecimento explícito, construído anteriormente, à rotina dos colaboradores por meio da prática. O acompanhamento prático realizado por líderes ou monitores ambientais representa uma estratégia eficaz para garantir a correta aplicação das diretrizes de uso racional da água, além de permitir intervenções pedagógicas em tempo real. Esses líderes atuam como multiplicadores do conhecimento e agentes de sensibilização ambiental no ambiente fabril. A inclusão de indicadores hídricos nos objetivos individuais dos trabalhadores reforça o comprometimento com a meta de redução do consumo, tornando a responsabilidade ambiental parte integrante do desempenho profissional. Esse tipo de integração incentiva o engajamento pessoal e coletivo, promovendo uma internalização profunda dos valores e comportamentos alinhados à sustentabilidade hídrica.

Por fim, a etapa de socialização encerra o ciclo da espiral do conhecimento ao retomar a base tácita por meio do compartilhamento direto entre indivíduos. A observação e o aprendizado prático entre turnos favorecem a transmissão informal do saber, permitindo que boas práticas no uso racional da água sejam assimiladas por meio da convivência cotidiana. Os relatos orais sobre problemas e soluções enfrentados no dia a dia, geralmente realizados em reuniões de equipe ou durante a troca de turno, enriquecem o repertório dos colaboradores com experiências concretas, fomentando o senso de responsabilidade compartilhada. A troca de experiências entre unidades fabris, com foco específico na gestão hídrica, amplia ainda mais esse processo de socialização, promovendo o intercâmbio de ideias entre diferentes realidades operacionais e fortalecendo a cultura organizacional voltada à sustentabilidade dos recursos hídricos, conforme podemos evidenciar no quadro 4.

Quadro 4 - Aplicação da espiral do conhecimento proposta à prática 3

|  |  |
| --- | --- |
| **(Socialização)**  1. Observação e aprendizado prático entre turnos  2. Relatos orais sobre problemas e soluções do dia a dia  3. Troca de experiências entre unidades fabris com foco hídrico | **(Externalização)**  1. Realizar *workshops* com registros em ata e fluxogramas  2. Criação de banco de lições aprendidas |
| **(Internalização)**  1. Acompanhamento prático por líderes ou monitores ambientais2. Inclusão de indicadores hídricos nos objetivos individuais | **(Combinação)**  1. *Benchmarking* interno entre unidades do grupo industrial  2. Criação de protocolos de contingência para escassez hídrica |

1. **CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES**

Os resultados obtidos revelam que a adoção de práticas da economia circular no setor metalmecânico analisado ainda se encontra em estágio incipiente, com médias gerais abaixo de 3 pontos numa escala de 1 a 5. Esse cenário evidencia uma lacuna significativa entre o discurso da sustentabilidade e sua efetiva incorporação às rotinas produtivas. Entre as práticas avaliadas, a redução do uso de água apresentou o desempenho mais expressivo, embora ainda classificado como “pouco utilizado”. Já o uso de energia de fontes renováveis foi a prática menos adotada, o que sugere dificuldades estruturais e falta de incentivos para a transição energética. A discrepância entre as empresas quanto à adoção das práticas também evidencia diferentes estágios de maturidade em relação à sustentabilidade, indicando a necessidade de ações integradas, estratégias coordenadas e políticas de disseminação de conhecimento e capacitação.

Ao aplicar o modelo da espiral do conhecimento às três práticas investigadas — uso de materiais renováveis, uso de energia renovável e redução do uso de água —, torna-se evidente o potencial da gestão do conhecimento como mecanismo estruturante para impulsionar a economia circular no setor. A externalização, ao permitir a sistematização de experiências operacionais, contribui para transformar saberes tácitos em ativos organizacionais. A internalização, por sua vez, garante que esse conhecimento seja efetivamente absorvido e praticado pelos colaboradores, por meio de treinamentos, acompanhamento técnico e integração às metas individuais. A etapa de combinação amplia esse repertório ao reunir saberes distintos em manuais, protocolos e diretrizes corporativas, promovendo a padronização e a escalabilidade das práticas sustentáveis. Finalmente, a socialização consolida o conhecimento em nível organizacional ao fomentar a troca espontânea de experiências entre equipes, turnos e unidades fabris, criando um ambiente colaborativo e orientado à aprendizagem contínua.

As implicações desse estudo são múltiplas. Do ponto de vista teórico, a articulação entre práticas da economia circular e a espiral do conhecimento contribui para preencher uma lacuna existente na literatura, ao propor um modelo dinâmico de aprendizagem organizacional voltado à sustentabilidade no setor industrial. Praticamente, oferece às empresas um roteiro metodológico para desenvolver competências ambientais a partir de seus próprios recursos cognitivos e experiências operacionais, reduzindo a dependência de soluções externas e promovendo inovação de baixo custo. Socialmente, ao promover a conscientização dos trabalhadores, a valorização do conhecimento local e o engajamento coletivo em práticas sustentáveis, a organização fortalece sua responsabilidade socioambiental e contribui para um modelo de produção mais resiliente, justo e alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável.

* 1. CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Este estudo contribui para o avanço do conhecimento ao propor a aplicação do modelo da espiral do conhecimento de Nonaka e Takeuchi (1997) como instrumento para promover práticas de economia circular em nível micro no setor metalmecânico. A principal contribuição está na articulação entre gestão do conhecimento e circularidade industrial, demonstrando como o saber tácito dos colaboradores pode ser convertido em ações sustentáveis estruturadas. Além disso, o trabalho oferece um diagnóstico empírico da adoção das práticas circulares em três empresas do setor, evidenciando o baixo nível de maturidade e a necessidade de estratégias integradas.

5.2 IMPLICAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

Do ponto de vista teórico, este estudo contribui ao avançar a integração entre economia circular e gestão do conhecimento, evidenciando como a espiral do conhecimento pode ser aplicada em nível micro para explicar processos de aprendizagem organizacional voltados à sustentabilidade. A abordagem aqui proposta amplia a literatura ao demonstrar que práticas circulares podem ser potencializadas por mecanismos cognitivos e sociais internos às empresas, reduzindo a dependência exclusiva de tecnologias externas.  
Na dimensão prática, os resultados oferecem um roteiro para empresas do setor metalmecânico transformarem experiências tácitas em rotinas formalizadas, a partir de treinamentos, protocolos e manuais técnicos. Esse direcionamento contribui para sistematizar ações de sustentabilidade e fortalecer uma cultura organizacional orientada à circularidade, criando bases sólidas para ganhos ambientais, econômicos e sociais.

5.3 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Os achados indicam que os gestores devem atuar como mediadores entre o conhecimento tácito dos colaboradores e a institucionalização das práticas circulares. A liderança exerce papel estratégico ao fomentar espaços de diálogo, incentivar a troca de experiências e transformar iniciativas isoladas em políticas corporativas de sustentabilidade. Além disso, a aplicação da espiral do conhecimento como ferramenta gerencial permite estruturar programas de capacitação contínua, alinhar indicadores de desempenho com metas ambientais e criar mecanismos de incentivo que valorizem a inovação sustentável.

5.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E ESTUDOS FUTUROS

Esta pesquisa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. O número reduzido de empresas analisadas — três unidades pertencentes a um mesmo grupo industrial restringe a generalização dos resultados para todo o setor metalmecânico. Além disso, a abordagem qualitativa, embora rica em profundidade, não permite estabelecer relações estatísticas robustas entre práticas circulares e desempenho organizacional.  
Para estudos futuros, recomenda-se ampliar a amostra, incluindo empresas de diferentes portes e segmentos da cadeia metalmecânica, bem como aplicar métodos quantitativos (como modelagem de equações estruturais) para testar hipóteses e medir impactos de forma mais precisa.

1. **REFERÊNCIAS**

**ALAVI, M.; LEIDNER, D. E.** Review: Knowledge management and knowledge management systems:Conceptual foundations and research issues. **MIS Quarterly**, v. 25, n. 1, p. 107–136, 2001.

ALI, G.; BAKHSHI, M.; ZHANG, Y. **Transition to renewable energy in manufacturing industries: Drivers, barriers and policy implications**. Journal of Cleaner Production, v. 412, p. 137345, 2024.

**ANTHONY, W. P.; PERREWÉ, P. L.; KACMAR, K. M.** **Strategic Human Resource Management.** Orlando: Dryden Press, 1996.

**ANTIKAINEN, M. et al.** **Exploring the implementation of circular economy practices in the manufacturing industry.** Journal of Cleaner Production, v. 201, p. 570-582, 2018.

**BOCKEN, N. M. P. et al.** **Product design and business model strategies for a circular economy.** Journal of Industrial and Production Engineering, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CUEVAS-PICHARDO, J.; SOTO, R.; MORALES, C. **Circular economy and industrial water management: A decision framework for sustainable manufacturing.** Journal of Environmental Management, v. 336, p. 117642, 2024.

**DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L.** **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam seu capital intelectual**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Orgs.). **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

EL-ASFOURY, D.; JUMAA, G.; KHALIL, A. **Circular economy adoption in metal industries: Integrating environmental performance and resource efficiency**. Resources, Conservation and Recycling, v. 196, p. 106001, 2023.

**ELLEN MACARTHUR FOUNDATION.** **Circular Economy Overview**. 2015.

**FERREIRA, F. et al.** **Reaproveitamento de resíduos metálicos na indústria: uma abordagem circular.** Revista Gestão & Tecnologia, v. 19, n. 3, p. 12-29, 2019.

**FRANÇA, A. C. L. et al.** **Liderança e gestão do conhecimento: um novo paradigma organizacional.** São Paulo: Atlas, 2011.

**GIL, A. C.** **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

**GODEY, A.** **Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais**. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 3, p. 65-70, 1995.

**GOLEMAN, D.** **Inteligência emocional.** Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

**GRANT, R. M.** **Toward a knowledge‐based theory of the firm**. Strategic Management Journal, v. 17, p. 109–122, 1996.

HAGEDORN, W.; GREIFF, K.; PAULIUK, S. **An environmental assessment framework for circular steel products.** Journal of Industrial Ecology, v. 28, n. 1, p. 123–140, 2024.

HAN, M. Y.; KIM, J. H.; LEE, S. Y. **Sustainable water use strategies in industrial manufacturing: A circular economy approach**. Sustainable Production and Consumption, v. 12, p. 155–164, 2017.

JABBOUR, C. J. C. et al. **Industry 4.0 and circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. Sustainable Production and Consumption**, v. 30, p. 1003–1014, 2022.

JÄGER, A.; KLEMENT, L.; BINDER, **C. Material loops in manufacturing: Challenges and opportunities for circular value creation**. Journal of Cleaner Production, v. 286, p. 125507, 2021.

**KIRCHHERR, J. et al.** **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.** Resources, Conservation and Recycling, v. 127, p. 221–232, 2017.

**LIEDER, M.; RASHID, A.** **Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry.** Journal of Cleaner Production, v. 115, p. 36-51, 2016.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MINH, D. Q.; NGUYEN, P. L.; TRAN, T. H. **Integrating renewable energy and circular economy: Evidence from metalworking SMEs in Vietnam.** Sustainability, v. 17, n. 3, p. 1456, 2025.

**MORENO, M. et al.** **Ecodesign for circular economy: design challenges.** Procedia CIRP, v. 40, p. 1-6, 2016.

**NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.** **Criação do conhecimento na empresa.** Rio de Janeiro: Campus, 1997.

OLIVEIRA NETO; GNIDARXIC; COSTA NETO. **Implementação estratégica no gerenciamento de pessoal: importância na vantagem competitiva e gestão do conhecimento – um estudo de caso em uma empresa do ramo de autopeças.** Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 7, n. 4, p. 195–225, 2011.

**OLIVEIRA, S. J.** **Metodologia científica: uma abordagem prática.** São Paulo: Atlas, 1999.

**PAULIUK, S.** **Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations.** Resources, Conservation and Recycling, v. 129, p. 81-92, 2018.

**RAO, M. K.** **Liderança coletiva: o segredo das organizações inteligentes**. São Paulo: Évora, 2009.

SILVA, D. L. da; BATISTA, L. C.; MELLO, R. C. de. Inovação e competitividade na indústria metalmecânica: análise das práticas de gestão em empresas brasileiras. Revista Gestão Industrial, v. 16, n. 2, p. 113–129, 2020.

**SCHARMER, C. O.** **Teoria U: liderando pela percepção e realização do futuro emergente.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

**SENGE, P.** **A quinta disciplina.** São Paulo: Best Seller, 2006.

**STRAUSS, A.; CORBIN, J.** **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada.** Porto Alegre: Artmed, 1990.

**THIOLLENT, M.** **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 2007.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 2008.

**TUKKER, A.** **Product services for a resource-efficient and circular economy – a review.** Journal of Cleaner Production, v. 97, p. 76–91, 2015.

**ULRICH, D.** **Human resource champions: The next agenda for adding value and delivering results.** Boston: Harvard Business Press, 1998.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.