PRODUÇÃO ONLINE
REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ISSN 1676-1901

SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING, ECONOMIA CIRCULAR E *TRIPLE BOTTOM LINE*: UM ESTUDO DE CASO EM UMA GRÁFICA BRASILEIRA

SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING, CIRCULAR ECONOMY, AND TRIPLE BOTTOM LINE: A CASE STUDY IN A BRAZILIAN PRINTING COMPANY

Marina Aparecida Barbosa de Souza* E-mail: m.apsouza06@gmail.com
Nayara Ferreira da Silva Brito* E-mail: nfsilvab@gmail.com
Denize Aparecida Gualberto* E-mail: denizegualberto@gmail.com
Ana Carolina Oliveira Santos* E-mail: anacarolina.santos@ufla.br
Isabela Maganha* E-mail: isabela.maganha@unesp.br
*Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Itabira, MG, Brasil.

Resumo: Pequenas e médias empresas (PMEs) enfrentam desafios para estruturar operações eficientes que equilibrem ganhos econômicos, ambientais e sociais. Este trabalho tem como objetivo aplicar o mapeamento do fluxo de valor sustentável (*sustainable value stream mapping* – Sus-VSM) integrado aos conceitos da economia circular (hierarquia 3R) e do *triple bottom line* (TBL) em uma indústria gráfica brasileira de pequeno porte. A pesquisa classifica-se como aplicada, descritivo-exploratória e qualitativa, operacionalizada por meio de um estudo de caso único. Os procedimentos empíricos envolveram observação participante *in loco*, cronometragem direta dos tempos de ciclo e *setup*, mapeamento dos estoques intermediários e aplicação do questionário do índice de carga física (*physical load index* – PLI) e de riscos operacionais. Para a análise e proposição de melhorias, empregaram-se o Sus-VSM, o diagrama de Ishikawa e a matriz 5W1H. Os resultados evidenciaram um descompasso expressivo entre o tempo de agregação de valor (67 segundos) e o *lead time* produtivo total (62,3 dias), impulsionado pelo excesso de estoques intermediários. O setor de impressão apresentou o maior desgaste ergonômico (PLI = 43,812), enquanto os componentes de alta velocidade representaram o maior risco à segurança. A análise causal revelou que os impactos sociais se sobrepõem aos demais, respondendo por 56% dos efeitos adversos mapeados, seguidos pelos financeiros (24%) e ambientais (20%). Como contribuição prática, estruturou-se um plano de ação em três fases de implementação associado a 20 indicadores de desempenho multidimensionais para monitoramento contínuo.

Palavras-chave: Economia circular. *Lean green*. Indústria gráfica. Sus-VSM. *Triple bottom line.*

Abstract: Small and medium-sized enterprises (SMEs) struggle to establish efficient operations that balance economic, environmental, and social performance. This study aims to apply the sustainable value stream mapping (Sus-VSM) integrated with circular economy principles (3R hierarchy) and the triple bottom line (TBL) in a Brazilian small printing facility. Methodologically, this research is classified as applied, descriptive-exploratory, and qualitative, carried out through a single case study. Empirical procedures comprised on-site participant observation, direct timing of cycle and setup operations, inventory quantification, and the administration of the physical load index (PLI) questionnaire alongside occupational hazard assessments. Data analysis and improvement planning were conducted using Sus-VSM, Ishikawa diagram, and a 5W1H action framework. The findings highlighted a significant gap between value-added processing time (67 seconds) and total manufacturing lead time (62.3 days), primarily driven by intermediate work-in-progress inventories. The printing department exhibited the highest ergonomic strain (PLI = 43.812), whereas high-speed machinery represented the critical safety hazard. The Ishikawa analysis demonstrated that social impacts were the most prevalent, accounting for 56% of total mapped adverse effects, followed by financial (24%) and environmental (20%) impacts. As a practical contribution, a three-phase implementation roadmap and 20 multidimensional performance indicators were established for operational monitoring.

Keywords: Circular economy. Lean green. Printing industry. Sus-VSM. Triple bottom line.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e as pressões mercadológicas contemporâneas impõem às indústrias a necessidade de conciliar competitividade operacional e sustentabilidade socioambiental. Nesse contexto, a integração entre os paradigmas *lean* e *green* consolidou-se como uma abordagem estratégica eficaz. Enquanto a manufatura enxuta (*lean manufacturing*) visa à eliminação sistemática de desperdícios produtivos, à flexibilidade e à maximização do valor sob a ótica do cliente, a vertente verde (*green manufacturing*) busca a ecoeficiência, a redução do consumo de recursos finitos e a mitigação dos passivos ecológicos decorrentes da atividade fabril (Alves; Alves, 2015; Abreu; Alves; Moreira, 2017; Teixeira et al., 2022).

Sob os preceitos do *triple bottom line* (TBL), o desenvolvimento sustentável pleno somente é alcançado quando as dimensões econômica, ambiental e social são geridas de forma equilibrada e simultânea (Elkington; Rowlands, 1999; Bhattacharya; Nand; Castka, 2019).

Entre os mecanismos analíticos do *lean*, o mapeamento do fluxo de valor (*value stream mapping* – VSM) tradicional estabeleceu-se como a ferramenta para diagnosticar tempos de ciclo, *lead times*, estoques intermediários e gargalos operacionais (Rother; Shook, 1999).

Contudo, a literatura e a prática industrial evidenciam uma limitação intrínseca ao VSM clássico; a sua métrica de agregação de valor restringe-se à eficiência do tempo e do fluxo de materiais, desconsiderando variáveis críticas de sustentabilidade, tais como balanço energético, pegada hídrica, geração de resíduos sólidos, esforço postural e riscos à integridade física dos colaboradores (Garza-Reyes et al., 2018; Choudhary et al., 2019).

Para superar essa lacuna analítica, surgiu o mapeamento do fluxo de valor sustentável (*sustainable value stream mapping* – Sus-VSM) (Faulkner; Badurdeen, 2014). Enquanto o VSM tradicional rastreia apenas o fluxo físico e informativo sob o prisma do *lead time*, o Sus-VSM incorpora formalmente os três pilares do TBL ao mapeamento operacional: parametriza o consumo de insumos e geração de efluentes (pilar ambiental), quantifica a carga ergonômica e os riscos mecânicos, químicos e elétricos dos postos de trabalho (pilar social) e correlaciona a ociosidade com os

custos de processo (pilar econômico) (Faulkner; Badurdeen, 2014; Hartini; Ciptomulyono; Anityasari, 2020).

Apesar do avanço conceitual proporcionado pelo Sus-VSM, a sua operacionalização associada à economia circular, com ênfase na hierarquia 3R (redução, reutilização e reciclagem), ainda apresenta lacunas teóricas e empíricas, especialmente no contexto das pequenas e médias empresas (PMEs) (Gandhi; Thanki; Thakkar, 2018; Kurdve; Bellgran, 2021).

As PMEs operam frequentemente sob severas restrições orçamentárias, carência de pessoal técnico especializado e gestão de caráter predominantemente familiar e reativo (Machado; Vivaldini; de Oliveira, 2020). Além disso, a literatura existe sobre o Sus-VSM tem priorizado grandes corporações e concentrando-se quase exclusivamente no consumo de energia e resíduos, negligenciando a dimensão social e o impacto das cargas físicas sobre a saúde dos operadores em arranjos produtivos de pequeno porte (Sajan; Shalij; Ramesh, 2017; Hartini; Ciptomulyono; Anityasari, 2020).

Essa vulnerabilidade é crítica para o setor industrial gráfico. Caracterizado pela heterogeneidade de demandas, lotes fracionados e elevada exigência de customização, o ambiente gráfico combina processos mecânicos intensivos com gargalos socioambientais substanciais.

Por um lado, o processo produtivo consome intensamente papel, plásticos, chapas de alumínio e compostos químicos (como solventes voláteis e tintas de impressão), gerando altos volumes de aparas descartadas e emissões fugitivas (García; Leone; Williams, 2014; Villalobos et al., 2021).

Por outro lado, as atividades de corte, impressão e acabamento impõem aos trabalhadores posturas estáticas desfavoráveis, repetitividade e manuseio frequente de cargas elevadas, expondo-os a riscos ergonômicos e mecânicos severos (Kiurski al., 2012). Diagnosticar e mitigar essas vulnerabilidades em uma PME gráfica exige uma abordagem analítica que una o fluxo produtivo (*lean*), o fechamento de ciclos de materiais (economia circular) e o bem-estar ocupacional (social) ao equilíbrio financeiro.

Diante desse cenário e visando preencher essa lacuna de integração teórico-prática, estabelece-se o seguinte problema de pesquisa: como integrar de forma estruturada o Sus-VSM, os princípios da economia circular (hierarquia 3R) e as

dimensões do TBL para identificar, diagnosticar e mitigar desperdícios operacionais, impactos ecológicos e riscos ergonômico-sociais em uma pequena indústria gráfica?

Para responder a essa questão, este artigo tem como objetivo aplicar o Sus-VSM em uma gráfica brasileira de pequeno porte, integrando a hierarquia 3R da economia circular e os pilares do TBL para o diagnóstico operacional e a elaboração de um plano de melhorias.

Como contribuição científica, a pesquisa avança sobre a literatura ao demonstrar a viabilidade metodológica do Sus-VSM na avaliação sistemática da dimensão social e da circularidade em PMEs. Do ponto de vista prático e gerencial, fornece um roteiro replicável de mensuração e acompanhamento, dotado de indicadores de desempenho e ações de melhoria adaptadas à realidade de empresas industriais de pequeno porte.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lean green

O *lean manufacturing* teve a sua origem no Japão pós-Segunda Guerra Mundial, no sistema Toyota de produção (STP), concebido para superar as limitações de flexibilidade e custos inerentes ao modelo fordista de produção em massa (Ohno, 1988). A essência do pensamento enxuto reside na identificação e eliminação sistemática de atividades sem valor agregado sob a ótica do cliente, sintetizadas tradicionalmente em sete grandes desperdícios: superprodução, espera, transporte excessivo, superprocessamento, estoques intermediários, movimentação desnecessária e produtos defeituosos (Womack; Jones, 1997). Posteriormente, a subutilização do intelecto, da criatividade e do potencial humano dos colaboradores foi formalmente incorporada como o oitavo desperdício *lean* (Garza-Reyes, 2015).

Com a intensificação das regulamentações ambientais, a escassez de recursos naturais e as mudanças no comportamento dos consumidores, o foco fabril estritamente voltado à produtividade revelou-se insuficiente (Garza-Reyes et al., 2014). Surgiu, assim, o *green manufacturing*, cujo propósito é mitigar a pegada ecológica das operações por intermédio da ecoeficiência, gestão de resíduos e redução de emissões gasosas e efluentes líquidos (Govindan et al., 2015).

A convergência desses paradigmas consolidou a abordagem *lean green*, fundamentada na sinergia entre ambos; enquanto o *lean* provê a disciplina

operacional de combate aos excessos e otimização de fluxo, o *green* direciona essas competências para a sustentabilidade ambiental (Bhattacharya; Nand; Castka, 2019; Teixeira et al., 2021).

A simbiose entre as práticas *lean* e *green* proporciona vantagens competitivas sustentáveis, refletidas na melhoria da eficiência global dos equipamentos (*overall equipment effectiveness* – OEE), no aumento da taxa de agregação de valor e na descarbonização das cadeias de suprimentos (Thanki; Govindan; Thakkar, 2016; Sharma; Kumar; Arora, 2025).

Contudo, nas PMEs, a consolidação do *lean green* enfrenta entraves estruturais, decorrentes da escassez de recursos de capital, da carência de capacitação técnica interna e da centralização das tomadas de decisão na figura do proprietário (Machado; Vivaldini; de Oliveira, 2020). Essa vulnerabilidade reforça a necessidade de instrumentos metodológicos simplificados e integrados para viabilizar sua aplicação no chão de fábrica de organizações de menor porte (Belhadi; Touriki; el Fezazi, 2018; Choudhary et al., 2019).

2.2 Sus-VSM

O VSM clássico consolidou-se como a principal técnica de modelagem visual dos fluxos de materiais e de informações de uma cadeia produtiva, demarcando com clareza as atividades de valor agregado (VA) e não valor agregado (NVA), o tempo de ciclo, o tempo de troca de ferramentas (*setup* – TR) e o *lead time* fabril (Rother; Shook, 1999). No entanto, o VSM convencional não contempla os impactos ecológicos e à degradação física humana decorrentes do ritmo produtivo (Thanki; Govindan; Thakkar, 2016; Vinodh; Ben; Asokan, 2016).

Para preencher essa lacuna, Faulkner e Badurdeen (2014) conceberam o Sus-VSM, um artefato metodológico que estende os limites visuais do mapa clássico ao incorporar indicadores socioambientais ao longo da linha de tempo do processo. Conforme demonstrado no Quadro 1, diversas ramificações do VSM foram desenhadas na última década, mas o Sus-VSM destaca-se pela abrangência com que harmoniza os fatores de chão de fábrica (Hartini; Ciptomulyono; Anityasari, 2020; Ferreira; Scavarda; Reis, 2023).

Quadro 1 – Principais métodos e os seus indicadores

Ferramenta	Indicadores	Referências
Environment value stream mapping (EVSM)	Consumo de energia.	Müller; Stock; Schilling, 2014; Bush et al*.,* 2014
Sus-VSM	Água; matéria-prima; consumo de energia; carga física (PLI); riscos devido a: sistemas elétricos, produtos químicos perigosos/ materiais usados, sistemas pressurizados e componentes de alta velocidade.	Faulkner; Badurdeen, 2014
VSM integrado com a avaliação do ciclo de vida (LCA)	Pegada de carbono; eutrofização da água; acidificação do ar; energia total consumida; custos; consumo de matéria-prima; consumo fluido refrigerante; carga física (PLI); ruído; riscos ambientais; *lead time*.	Vinodh; Ben; Asokan, 2016
ErgoVSM	Posturas de trabalho; força/ peso; variação física; porosidade; potencial ergonômico.	Jarebrant et al*.,* 2015
GIVSM	Pegada de carbono com valor agregado; pegada de carbono total; consumo de energia; matéria-prima; lixo; transporte; emissão de gases de efeito estufa (GEE).	Choudhary et al*.,* 2019

Fonte: Elaboração própria (2026).

No Sus-VSM, a linha de dados operacionais padrão ganha o acréscimo de métricas customizadas às particularidades do setor industrial analisado (FAULKNER; BADURDEEN, 2014). Enquanto grandes indústrias de base focam em matrizes de balanço hídrico ou consumo energético de grande porte, PMEs (inclusive gráficas) requerem a priorização de riscos ocupacionais, taxas de geração de resíduos sólidos e sobrecarga física do operador (JAREBRANT et al., 2016; FERREIRA; SCAVARDA; REIS, 2023).

2.3 Economia circular e a hierarquia 3R

A transição do modelo econômico linear tradicional em direção à economia circular estabelece um novo paradigma regenerativo e restaurativo para os sistemas industriais (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Korhonen et al*.,* 2018).

A economia circular visa dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental e do esgotamento de recursos finitos, promovendo a manutenção do maior nível de utilidade e valor de materiais, componentes e produtos por meio de ciclos fechados de materiais (Alcalde-Calonge; Ruiz-Palomino; Sáez-Martínez, 2024).

Embora a literatura categorize as estratégias circulares em hierarquias ampliadas (do R0 ao R9), a base operacional de sustentabilidade nas linhas de produção e PMEs apoia-se predominantemente na hierarquia 3R (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016; Kurdve; Bellgran, 2021).

Sob a ótica fabril, reduzir representa a estratégia prioritária na hierarquia, voltada à minimização da entrada de matéria-prima, utilidades e geração de aparas mediante a otimização dos parâmetros de corte, estabilidade de máquinas e trabalho padronizado (Haas et al*.,* 2015; Fercoq; Lamouri; Carbone, 2016).

Reutilizar compreende o redirecionamento imediato de sobras de processo, embalagens de matéria-prima e estruturas intermediárias sem a necessidade de transformação físico-química prévia, estendendo seu ciclo de vida dentro ou fora das fronteiras fabris (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Teixeira et al*.,* 2021).

E reciclar consiste no processamento industrial de frações descartadas (como aparas limpas de papel e chapas de alumínio) para que sejam reinseridas na cadeia de suprimentos como matéria-prima secundária de igual ou menor valor agregado (*upcycling/ downcycling*) (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016; Nowicka; Bentkowska, 2024).

Ao entrelaçar a hierarquia 3R ao fluxo enxuto (*lean green*), a organização deixa de encarar as sobras e ociosidades fabris apenas como perda de custo e passa a estruturá-las como oportunidades de circularidade no próprio posto de trabalho (Kurdve; Bellgran, 2021).

2.4 Triple bottom line

A sustentabilidade exige a coesão das três dimensões do TBL. A dimensão econômica assegura a rentabilidade, redução de perdas financeiras e estabilidade de custos de manufatura; a dimensão ambiental congrega a gestão de resíduos, conservação de energia e prevenção de poluição; e a dimensão social reflete o compromisso com o bem-estar, a segurança e a saúde dos colaboradores e de seu entorno (Bhattacharya; Nand; Castka, 2019; Elkington; Rowlands, 1999; Sharma; Kumar; Arora, 2025).

Historicamente, o pilar social do TBL tem sido o elo mais negligenciado nas implantações de melhoria contínua em pequenas empresas (Sajan; Shalij; Ramesh, 2017; Wong; Wong, 2014).

Para parametrizar essa dimensão no ambiente operacional de forma quantificável, a literatura consagrou duas métricas fundamentais adotadas no Sus-VSM. A primeira é a matriz de riscos ambientais e ocupacionais, que avalia a probabilidade e severidade de danos físicos potenciais aos operadores em quatro

categorias operacionais críticas: riscos elétricos (E), riscos químicos (H), riscos em sistemas pressurizados (P) e riscos por componentes móveis de alta velocidade (S), mensurados em uma escala ordinal ponderada de 1 a 5 (Hollmann et al*.,* 1999; Faulkner; Badurdeen, 2014).

A segunda é o PLI, que mensura a sobrecarga ergonômica acumulada a partir de questionário padronizado que cruza as frequências temporais de desvios posturais críticos (tronco inclinado/ torcido, elevação de braços e trabalho agachado) com a intensidade de manuseio e transporte de cargas pesadas (> 20 kg). O escore final (escala de 0 a 56) permite mapear quais postos de trabalho representam maior risco de patologias osteomusculares e absenteísmo (Jarebrant et al*.,* 2016; Hartini; Ciptomulyono; Anityasari, 2020).

2.5 Ferramentas de análise causal e implementação de melhoria

A identificação das perdas operacionais via Sus-VSM fornece o mapeamento do estado atual, mas não diagnostica de forma imediata as causas-raízes subjacentes às anomalias. Para tanto, torna-se indispensável o emprego de métodos complementares.

O diagrama de causa e efeito atua como ferramenta estruturante para a análise sistemática da causalidade de problemas operacionais, agrupando os fatores contribuintes em seis dimensões analíticas (6M): método, máquina, medida, meio ambiente, mão de obra e matéria-prima (Ishikawa, 1986).

No contexto do desenvolvimento sustentável, a sua aplicação estendida permite categorizar como os desperdícios de chão de fábrica geram repercussões simultâneas nas dimensões do TBL, revelando a preponderância de impactos sociais e econômicos decorrentes de falhas de processo.

Uma vez diagnosticadas as causas-raízes, a formalização das contramedidas requer uma ferramenta operacional de desdobramento (Kuligovski et al*.,* 2021). A matriz 5W2H constitui um plano de ação diretivo focado em responder: o que fazer (*what*), porque fazer (*why*), onde realizar (*where*), quem é o responsável (*who*), quando executar (*when*), como proceder (*how*) e quanto custará (*how much*).

No cenário específico de PMEs, adota-se com frequência o formato 5W1H, suprimindo-se a coluna orçamentária prévia para permitir flexibilidade e foco prioritário

na viabilidade técnica e comportamental das soluções propostas no chão de fábrica (Kuligovski et al*.,* 2021).

3 METODOLOGIA

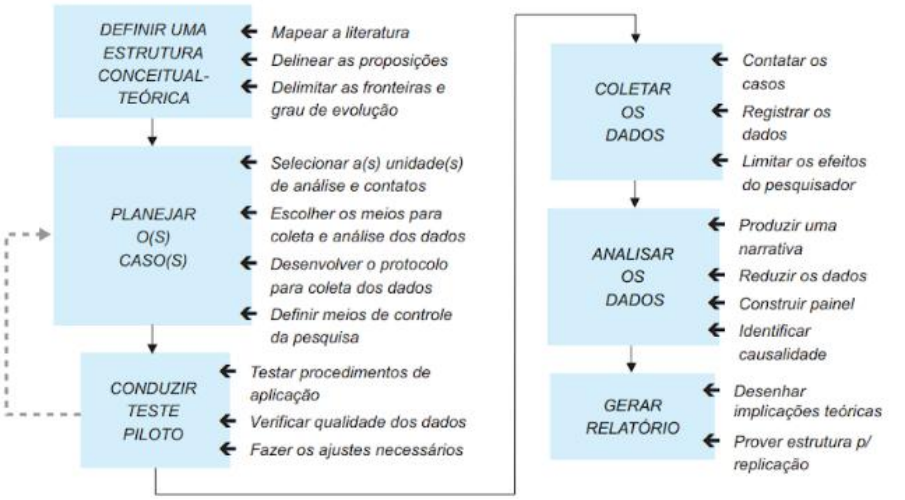
3.1 Classificação da pesquisa

Este trabalho se trata de uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimentos para aplicação prática voltados à solução de problemas operacionais e socioambientais específicos no chão de fábrica. É predominantemente qualitativa, complementada por dados quantitativos operacionais (tempos de ciclo, volumes de estoque, escores de carga ergonômica e matrizes de risco). Classifica-se como descritivo-exploratória, pois investiga fenômenos organizacionais contemporâneos em seu contexto real e busca aprofundar a integração teórica de construtos recentes (Sus-VSM, 3R e TBL) em um segmento pouco explorado (PMEs gráficas) (Miguel, 2007).

Quanto ao procedimento técnico, adotou-se o estudo de caso único (Yin, 2018). O estudo de caso é indicado para investigar questões do tipo “como” e “por que”, permitindo apreender a dinâmica e a complexidade holística dos processos organizacionais e administrativos sem desvinculá-los de seu ambiente natural (Miguel, 2007; Yin, 2018).

O delineamento da pesquisa seguiu as etapas metodológicas sistematizadas por Miguel (2007): (i) definição da estrutura conceitual-teórica; (ii) planejamento do caso e seleção da unidade de análise; (iii) coleta de dados empíricos; (iv) análise e triangulação dos dados; e (v) elaboração do relatório conclusivo e plano de ação, conforme esquematizado na Figura 2.

Figura 1 – Etapas do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Miguel (2007).

3.2 Objeto de estudo e critérios de seleção da empresa

A unidade de análise selecionada é uma indústria gráfica brasileira de pequeno porte, fundada em 1998 e sediada no estado de São Paulo. A empresa conta com 22 colaboradores distribuídos nos seguintes setores: gerência (2), comercial/atendimento (5), financeiro (2), pré-impressão/design (1), gravação de chapas (2), corte inicial e colagem (1), impressão *offset* (2), acabamento inicial e final (6) e expedição (1).

A escolha da empresa baseou-se em três critérios intencionais de amostragem (Miguel, 2007; Yin, 2018):

1. Representatividade do setor e porte: a empresa selecionada enquadra-se tipicamente no perfil de PME gráfica familiar brasileira, operando com arranjo físico funcional, processos em batelada e ampla diversidade de produtos customizados (folhetos, notas, cartazes, blocos e receituários).
2. Relevância socioambiental prévia: a gráfica apresentava processos com alta geração de aparas de papel, uso de tintas e solventes químicos voláteis, além de relatos operacionais informais de fadiga muscular e desorganização de fluxo, demandando um diagnóstico sob a ótica do TBL e da economia circular.
3. Acessibilidade e transparência: a gerência da gráfica franqueou livre acesso às instalações produtivas, aos colaboradores e aos registros operacionais, requisito para garantir a validade e a confiabilidade de um estudo de caso aprofundado.

3.3 Protocolo e procedimento de coleta de dados

A coleta de dados empíricos ocorreu no período de dezembro de 2021 a junho de 2022, combinando múltiplas fontes de evidência para viabilizar a triangulação dos dados (Yin, 2018).

3.3.1 Seleção da família de produtos crítica

Com base no histórico documental de ordens de serviço (anos de 2020 e 2021) e faturamento, realizou-se uma análise ABC de produtos combinada com entrevistas semiestruturadas com os gestores comerciais e operacionais. Constatou-se que a família de blocos personalizados (composta por miolo em papel *offset* e capa) apresentava o maior volume de ordens de serviço da empresa e o segundo maior faturamento financeiro bruto, além de uma demanda média regular de 94 unidades/ dia, sendo eleita como o produto crítico para o mapeamento.

3.3.2 Cronometragem e mapeamento operacional

A jornada do produto foi percorrida de ponta a ponta no sentido inverso ao fluxo físico (do cliente e expedição até o recebimento de matéria-prima), sob a técnica de observação direta participante.

Para cada um dos sete setores envolvidos no fluxo do bloco (corte inicial, impressão, acabamento inicial, corte final, colagem, acabamento final e expedição), foram realizadas 20 tomadas de tempo com cronômetro digital centesimal, calculando-se as médias aritméticas dos tempos de ciclo e tempos de troca de lote (*setup* – TR).

Os estoques intermediários foram quantificados fisicamente por contagem direta no chão de fábrica ao longo dos turnos de trabalho, convertidos em blocos acabados (à exceção do estoque de matéria-prima antes do corte, mensurado em folhas).

Calculou-se o tempo de trabalho líquido disponível por setor, eliminando-se as paradas regulamentares de almoço (60 min) e intervalos de café (30 min). O *takt time* foi calculado pela razão entre o tempo de trabalho disponível diário e a demanda diária de clientes (Rother; Shook, 1999).

3.3.3 Protocolo de avaliação das métricas sociais e ergonômicas

Atendendo à dimensão social do Sus-VSM, dois instrumentos formais foram empregados entre abril e maio de 2022: PLI e matriz de riscos operacionais.

Primeiramente, aplicou-se o questionário estruturado validado por Hollmann et al. (1999). Foram entrevistados 17 operadores diretamente envolvidos nas atividades produtivas e logísticas do fluxo analisado. O questionário avaliou, por meio de escalas de frequência de 5 pontos (nunca/ raramente, às vezes, frequentemente, muito frequentemente, continuamente), posturas desfavoráveis de tronco (flexão/ torção severa), membros superiores (elevação acima da linha dos ombros), membros inferiores (agachamento/ ajoelhamento) e o manuseio manual de cargas superiores a 20 kg (papel, chapas de alumínio e caixas). Os escores individuais foram calculados e agregados pela média ponderada por posto operacional, resultando em um índice adimensional entre 0 e 56 (Hollmann et al., 1999).

Em seguida, por meio de auditorias técnicas visuais e análise de postos de trabalho fundamentadas no método de Faulkner e Badurdeen (2014), os postos foram classificados segundo a severidade e probabilidade de acidentes em quatro eixos: riscos elétricos (E), produtos químicos perigosos (H), sistemas pressurizados (P) e componentes móveis de alta velocidade (S). A régua de ponderação adotada para a mensuração ordinal de 1 a 5, baseada em Hollmann et al. (1999), encontra-se sistematizada no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de classificação do nível de risco ocupacional

Nível de risco do operador	**Descrição e critérios de ponderação**
-	Risco potencial não existe no posto de trabalho
1	O risco está presente, mas apresenta baixo impacto e baixa probabilidade de ocorrência
2	O risco está presente, com baixo impacto e alta probabilidade de ocorrência, ou alto impacto e baixa probabilidade de ocorrência
3	O risco está presente, com impacto médio e probabilidade média de ocorrência
4	O risco está presente, com impacto médio e alta probabilidade de ocorrência, ou alto impacto e média probabilidade de ocorrência
5	O risco está presente, com alto impacto e alta probabilidade de ocorrência

Fonte: Adaptado de Hollmann et al. (1999) e Faulkner e Badurdeen (2014).

3.3.4 Diagnóstico da economia circular

Ao longo das visitas técnicas, foram mapeadas as práticas de destino e manuseio de sobras em cada etapa produtiva, categorizando-as segundo a hierarquia 3R: reduzir (prevenção de refugos e aparas), reutilizar (aproveitamento interno de sobras e embalagens) e recuperar/ reciclar (destinação de aparas e chapas para reciclagem externa ou reprocessamento).

A análise dos dados estruturou-se em quatro fases sequenciais. Na primeira, os fluxos físico, informacional e as linhas de sustentabilidade social e ambiental foram desenhados inicialmente em rascunhos de chão de fábrica e posteriormente digitalizados no *software* Microsoft Visio® 2022. Construiu-se paralelamente o gráfico de balanceamento de operadores (GBO) para confrontar a carga de trabalho com o *takt time*.

Na segunda fase, os oito desperdícios do *lean* identificados foram desdobrados nas seis categorias do diagrama de causa e efeito para apuração das causas-raízes. Na sequência, cada ramificação de efeito foi classificada quanto ao impacto sobre as três dimensões do TBL, quantificando-se a representatividade percentual de cada pilar.

As contramedidas priorizadas foram sistematizadas na terceira fase, utilizando a matriz 5W1H (*what, why, where, who, when, how*), suprimindo-se a coluna de custos (*how much*) em razão da política interna de sigilo e alocação orçamentária discricionária da diretoria da empresa. As ações foram organizadas em três fases temporais: pré-implementação, implementação e pós-implementação.

Por fim, na quarta fase, estruturou-se um painel de 20 indicadores categorizados nas dimensões econômica, ambiental e social para controle e monitoramento contínuo das melhorias propostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico operacional e dados de campo

A coleta de dados empíricos no chão de fábrica permitiu quantificar a dinâmica operacional das sete etapas de manufatura da família crítica de blocos. A Tabela 1 consolida o número de operadores alocados, as médias cronometradas de tempo de

ciclo e tempo de *setup*, a capacidade disponível líquida por turno e o volume de estoques intermediários em processo.

Tabela 1 - Parâmetros operacionais e tempos de processo da família de blocos

Etapas	Número de funcionários	Tempo de ciclo (s)	Tempo de *setup* (s)	Disponibilidade de trabalho por turno (s)	Estoques (blocos)
Corte inicial	1	5	4	30600	-28295 folhas*
Impressão	1	12	36	61200	160
Acabamento inicial	6	26	5	183600	152
Corte final	1	3	3	30600	113
Colagem	1	15	1	30600	113
Acabamento final	6	5	3	183600	39
Expedição	1	1	0	183600	205

* O estoque que antecede o corte inicial refere-se à matéria-prima bruta estocada em folhas de papel

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Durante as rotinas de observação direta participante, os oito desperdícios da manufatura enxuta foram identificados e distribuídos pelos postos de trabalho, conforme sistematizado no Quadro 3.

Quadro 3 – Mapeamento dos desperdícios *lean* por setor produtivo

Setores	Desperdícios identificados	Quantidade
Acabamento inicial	Superprodução, espera, transporte e movimentação, superprocessamento, estoque, defeitos, subutilização do potencial humano	8
Impressão	Superprodução, espera, transporte e movimentação, superprocessamento, estoque, defeitos	7
Corte inicial	Superprodução, transporte e movimentação, superprocessamento, estoque, subutilização do potencial humano	6
Colagem	Superprodução, transporte e movimentação, superprocessamento, estoque, subutilização do potencial humano	6
Acabamento final	Superprodução, espera, superprocessamento, estoque, subutilização do potencial humano	5
Corte final	Superprodução, superprocessamento, estoque, subutilização do potencial humano	5
Expedição	Espera, transporte e movimentação, estoque, subutilização do potencial humano	4

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Paralelamente, avaliou-se a maturidade da gráfica em relação à economia circular no chão de fábrica. As práticas observadas foram classificadas segundo a hierarquia 3R, conforme sintetizado no Quadro 4.

Quadro 4 - Aderência dos postos de trabalho à hierarquia 3R

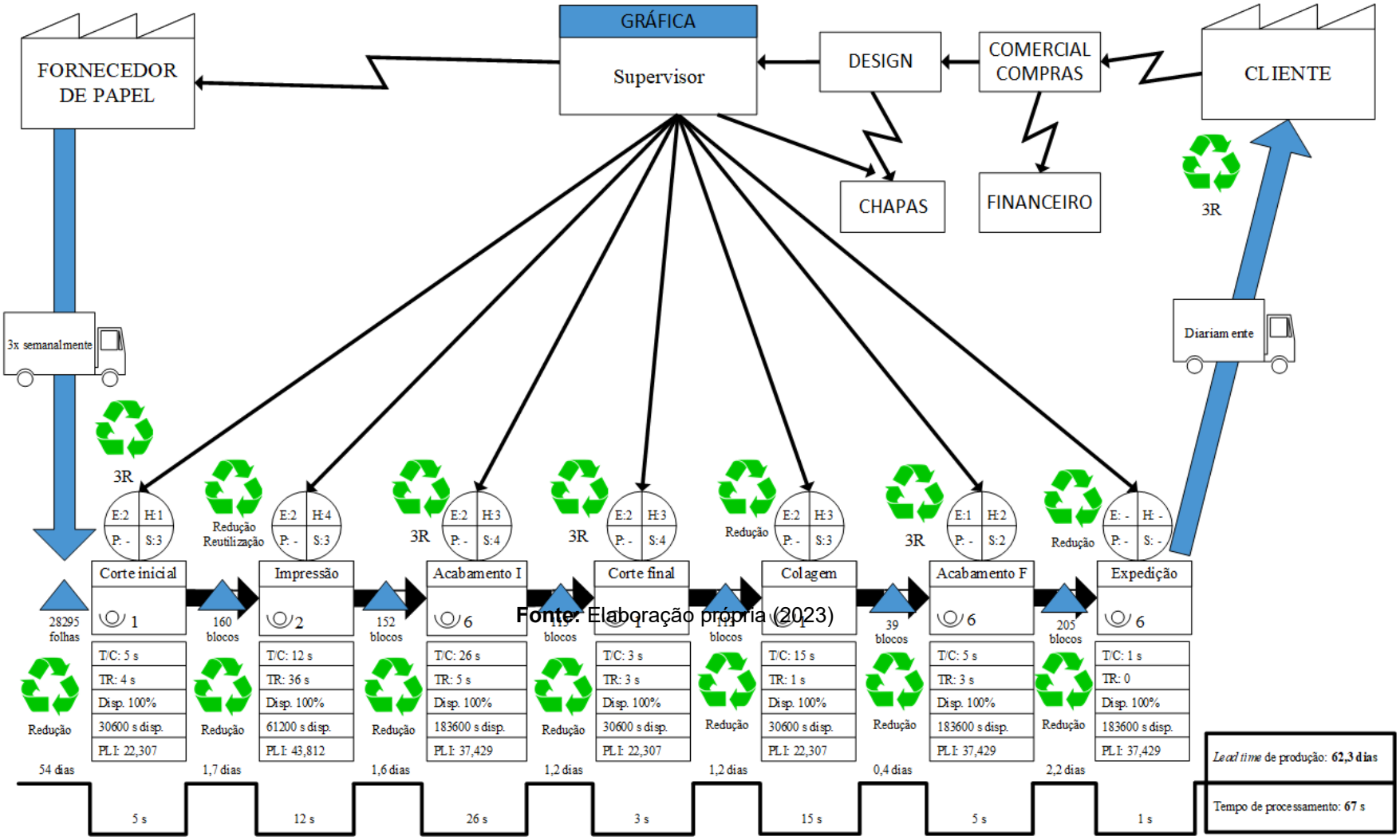
Setores	Práticas 3R identificadas no posto
Corte inicial	Reduzir, reutilizar e reciclar/ recuperar
Impressão	Reduzir e reutilizar
Acabamento inicial	Reduzir, reutilizar e reciclar/ recuperar
Corte final	Reduzir, reutilizar e reciclar/ recuperar
Colagem	Reduzir
Acabamento final	Reduzir e reutilizar
Expedição	Reduzir

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.2 Mapeamento do estado atual (Sus-VSM) e balanceamento de operadores

A partir dos parâmetros operacionais levantados, estruturou-se o Sus-VSM do estado atual, integrando as linhas de dados operacionais, as métricas ergonômico-sociais (riscos E, H, P, S e índice PLI) e as estratégias circulares (3R), conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Sus-VSM do estado atual



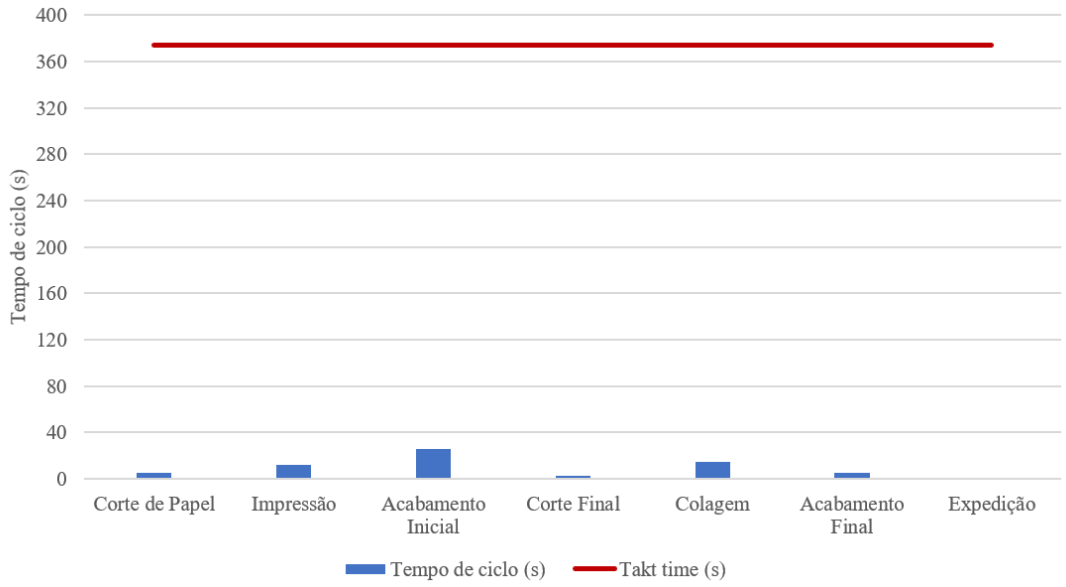
Fonte: Elaboração própria (2023)

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O Sus-VSM revela que enquanto o tempo de processamento efetivo somado ao longo das operações é de apenas 67 segundos, o *lead time* produtivo total atinge 62,3 dias. Essa assimetria decorre da estagnação do fluxo provocada por estoques intermediários excessivos acumulados entre as etapas, caracterizando o modo de empurrar a produção.

Considerando o tempo de trabalho líquido disponível e a demanda média diária de 94 unidades, obteve-se um *takt time* de 374 segundos. O GBO, ilustrado na Figura 4, confronta os tempos de ciclo de cada etapa com a cadência exigida pelo cliente.

Figura 4 – GBO do estado atual



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O GBO evidencia que todos os tempos de ciclo individuais se encontram significativamente abaixo da linha do *takt time*. O processo puxador do fluxo é o acabamento inicial, com tempo de ciclo de 26 segundos. Esse descompasso ocorre porque a gráfica opera sob um *mix* multiproduto amplo, no qual os mesmos colaboradores transitam entre a confecção de blocos, envelopes, cartazes e receituários ao longo do dia. A inexistência de um nivelamento de carga e de controle de capacidade faz com que a empresa fabrique grandes lotes de blocos para estocagem temporária, inflando os tempos de espera globais.

No que tange à hierarquia 3R, o detalhamento das oportunidades observadas no fluxo fabril encontra-se estruturado no Quadro 4.

Quadro 4 – Identificação dos 3Rs no processo

3R	Identificação no processo
Reduzir	Aderir ao cronograma de produção gera a quantidade certa de saída; reduzir o estoque de trabalho em andamento evita danos ao material/ produto; uma localização ideal reduz a necessidade de proteger os produtos durante o transporte e, consequentemente, a utilização de embalagem; a falta de padronização propicia o uso de materiais em quantidades incertas; o controle de estoque elimina os materiais ou produtos obsoletos; o controle de estoque reduz o seu nível ao mínimo; o controle de parâmetros importantes (modo de configuração, cartão de controle, *poka-yoke*) reduz os defeitos.
Reutilizar	O excesso de produção pode ser doado para instituições de caridade; as embalagens dos fornecedores podem ser reutilizadas nos processos internos; as sucatas podem ser reintegradas ao processo como matéria-prima; os resíduos podem ser reutilizados nos processos; o potencial humano pode ser reutilizado para promover soluções para minimizar os impactos ambientais.
Recuperar	A reciclagem interna reduzi o transporte; agrupar o transporte de resíduos reduz o impacto ambiental por tonelada de resíduos; sugestões de melhorias perdidas dadas pelos colaboradores podem ser recuperadas.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

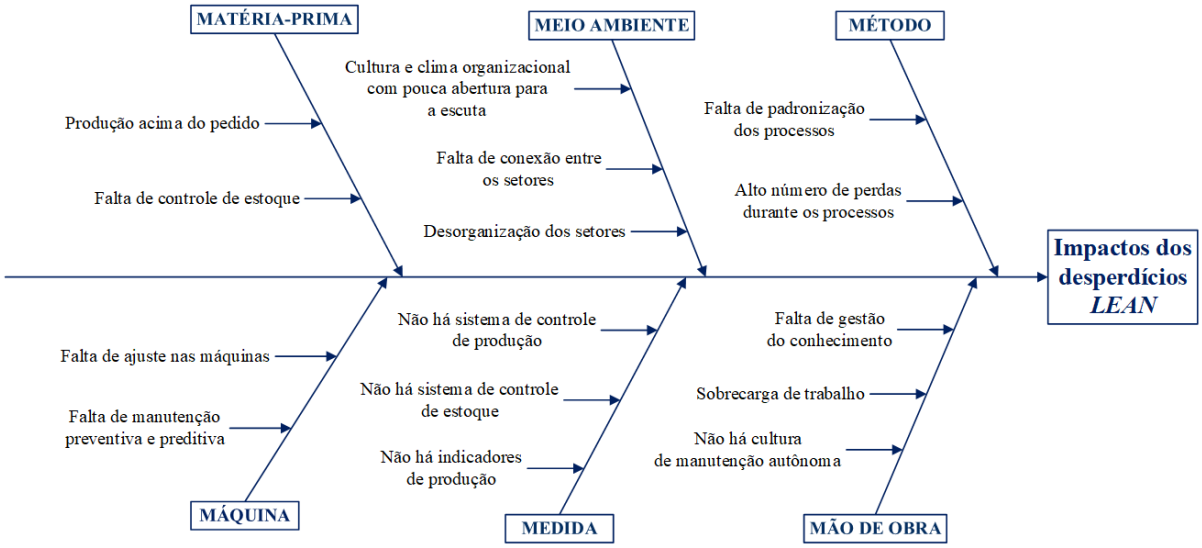
Sob a ótica social, os componentes mecânicos de alta velocidade (S) representam o risco ocupacional mais crítico da fábrica, decorrente da operação manual de guilhotinas e impressoras *offset* sem enclausuramento total. O risco químico (H) apresentou criticidade relevante na impressão, devido à volatilização de compostos orgânicos presentes em solventes de limpeza de rolos e tintas gráficas convencionais. Os riscos elétricos (E) foram evidenciados na fiação exposta e cabos de alimentação no piso fabril, ao passo que os riscos pneumáticos/pressurizados (P) mostraram-se desprezíveis.

Quanto à sobrecarga ergonômica, o setor de impressão registrou o índice PLI mais elevado da empresa (43,812), impulsionado pela postura permanente em pé com flexão acentuada de tronco e carregamento rotineiro de fardos de papel superiores a 20 kg para alimentação da máquina. O acabamento inicial registrou o segundo maior escore (PLI = 37,429), associado a esforços repetitivos de membros superiores, manuseio manual de cargas e movimentação constante.

4.3 Análise causal dos desperdícios e desdobramento no TBL

Os desperdícios de maior prevalência foram estoques intermediários (presentes em 7 postos), superprodução (6 postos) e superprocessamento (6 postos). O diagnóstico causal sistematizado via Diagrama de Ishikawa encontra-se ilustrado na Figura 5.

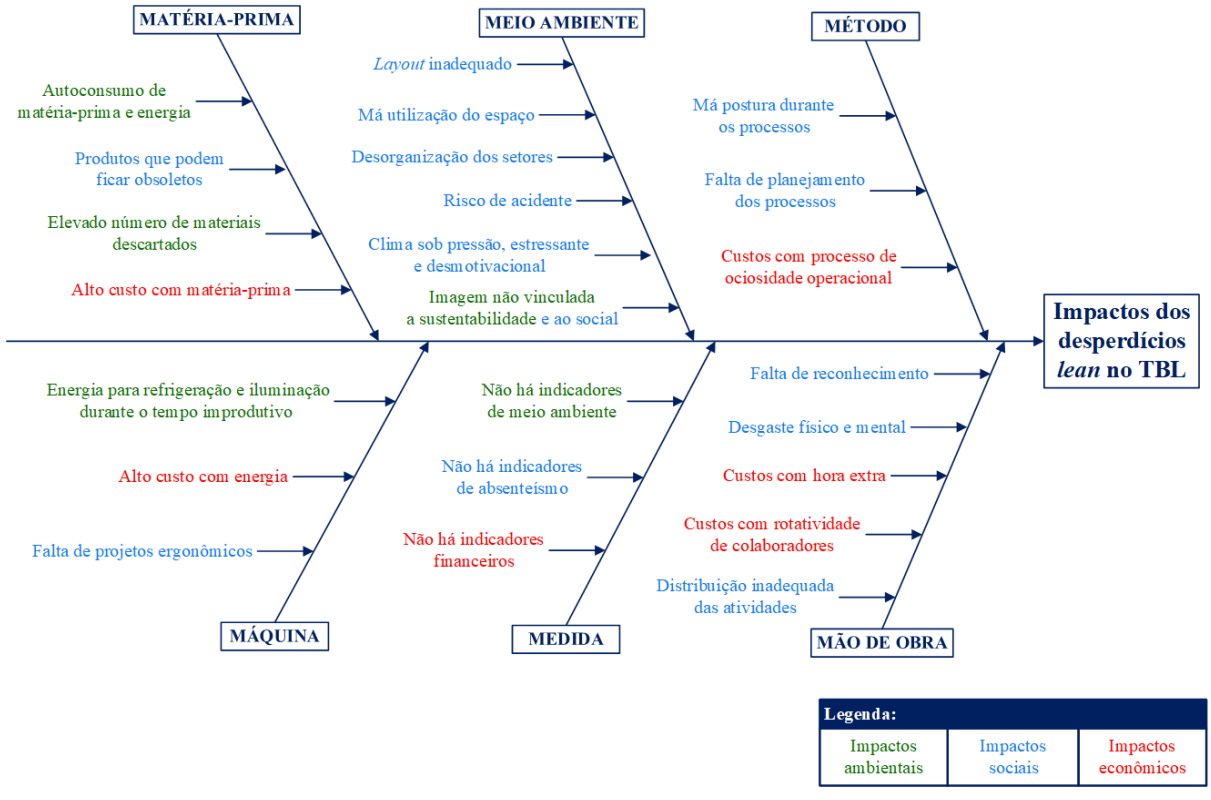
Figura 5 - Análise dos efeitos dos desperdícios *lean* no processo produtivo



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Para quantificar e categorizar a repercussão desses gargalos sobre a sustentabilidade, estruturou-se o diagrama de causa e efeito estendido ao TBL, ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Análise dos efeitos dos desperdícios *lean* no TBL



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A mensuração percentual das ramificações causais no TBL evidenciou que os impactos sociais se sobrepõem aos demais, representando 56% das vulnerabilidades mapeadas, seguidos pelos impactos financeiros (24%) e ambientais (20%).

Esse achado contrapõe-se à literatura tradicional de PMEs, que tende a ignorar as demandas sociotécnicas e ergonômicas em prol de indicadores estritamente contábeis, reforçando a urgência de intervenções com foco na preservação do capital humano (Hartini; Ciptomulyono; Anityasari, 2020; Sharma; Kumar; Arora, 2025).

4.4 Plano de ação

Para mitigar os desperdícios identificados e atender simultaneamente às três vertentes do TBL e à hierarquia 3R, estruturou-se uma matriz de contramedidas operacionais, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Plano de ação

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Desperdícios	3R	TBL
Promover capacitação	Cultura e clima organizacional com pouca abertura para escuta	Na empresa	Equipe	3 meses	Programa de aperfeiçoamento	Pouca utilização do potencial humano	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Implementar programa 5S	Desorganização dos setores	Na empresa	Empresa de consultoria	3 meses	Aplicação da metodologia 5S com auditoria	Transporte, estoque e movimento	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Implementar trabalho padronizado	Não há padronização nos processos e distribuição inadequada das atividades	Na empresa	Empresa de consultoria	3 meses	Mapeamento dos processos	Todos os oito desperdícios	Redução e reutilização	Ambiental, social e econômico
Implementar gestão visual	Não há gestão visual	Na empresa	Empresa de consultoria	1 mês	Quadros: reformular as etiquetas por meio de cores e/ou números que especificam o serviço	Espera, transporte, movimento, processamento e estoque	Redução	Ambiental, social e econômico
Implementar gestão do conhecimento	Falta de gestão do conhecimento e sobrecarga de trabalho	Todos os setores da empresa	Empresa de consultoria	6 meses	Mapeamento das competências, canais de discussão, registro do aprendizado e pesquisas de satisfação	Pouca utilização do potencial humano	Redução	Ambiental, social e econômico
Melhorar o *layout* de produção	*Layout* inadequado, risco de acidentes e má utilização do espaço	Setores de produção	Empresa de consultoria	3 meses	Simulação	Transporte e movimento	Redução	Ambiental, social e econômico

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Desperdícios	3R	TBL
Implementar as ferramentas e a cultura da manutenção produtiva total	Falta de manutenção autônoma e análises	Setores de produção	Empresa de consultoria	3 meses	Aplicação dos pilares da manutenção produtiva total	Superprodução, superprocessamento, defeitos e pouca utilização do potencial humano	Redução	Ambiental, social e econômico
Implementar o planejamento e controle da produção	Não há sistema de controle de produção e falta de planejamento dos processos	Setores de produção	Líder capacitado	3 meses	Análise e previsão da demanda, planejamento e controle da produção	Processamento e espera	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Criar gestão de perdas	Alto número de perdas durante o processo	Na empresa	Empresa de consultoria	Semanalmente	Mapeamento das perdas nos setores, seguido de análise causal e de Pareto	Processamento, espera, superprodução e pouca utilização do potencial humano	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Criar programas de melhoria contínua	Não tem cultura de melhoria contínua	Na empresa	Líder capacitado	3 meses	Gemba-kaizen	Todos os oito desperdícios	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Criar um sistema de controle de estoque	Não há sistema de controle de estoque	Setores de compra e produção	Empresa terceirizada de tecnologia da informação	6 meses	Aplicação de um sistema de controle de estoque	Estoque, transporte, movimento e espera	Redução	Ambiental, social e econômico
Criar um espaço para intervalo do colaborador	Clima estressante	Na empresa	Empresa de construção civil	6 meses	Separação da cozinha dos setores	Pouca utilização do potencial humano	Redução	Ambiental, social e econômico
Implementar sistemas ERP	Falta de conexão entre os setores	Na empresa	Empresa terceirizada de tecnologia da informação	3 meses	Sistema de gestão integrado com foco em pequenas empresas	Espera, defeitos, transporte e movimento	Redução	Ambiental, social e econômico

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Desperdícios	3R	TBL
Melhorar a imagem vinculada à sustentabilidade	Imagem não vinculada à sustentabilidade; autoconsumo de matéria-prima e energia, e elevado número de materiais descartados	Na mídia	Parcerias com instituições do terceiro setor	6 meses	Programas de destinação; reaproveitamento de resíduos; marketing verde; brindes recicláveis; reaproveitamento de embalagens	Pouca utilização do potencial humano	Reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Melhorar a imagem vinculada ao social	Imagem não vinculada ao social	Na mídia	Parcerias com instituições do terceiro setor	6 meses	Doação de resíduos para ONGs	Pouca utilização do potencial humano	Reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Criar um programa de reconhecimento dos colaboradores	Falta de reconhecimento	Todos os setores da empresa	Gestores	6 meses	Ideias premiadas; metas produtivas sustentáveis; premiação programa *lean*	Pouca utilização do potencial humano	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico
Desenvolver projeto ergonômico	Má postura durante os processos; desgaste físico e mental e falta de projetos ergonômicos	Setor de produção	Empresa de consultoria	6 meses	Carrinhos de transporte mais altos; assentos ergonômicos adaptados	Processamento, defeitos e pouca utilização do potencial humano	Redução e recuperação	Ambiental, social e econômico
Obter certificação ISO 9001 e/ ou ISO 14001	Não há certificação dos padrões internacionais	Na empresa	Empresa de certificação	1 ano	Adaptação da legislação; auditoria	Todos os oito desperdícios	Redução, reutilização e recuperação	Ambiental, social e econômico

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Para assegurar a governança e o sucesso da mudança, a implementação do plano de ação foi estruturada em (1) pré-implementação, dedicada à sensibilização da equipe em relação à filosofia *lean green*, treinamento em ergonomia postural e definição da liderança do projeto; (2) implementação, que incluiu a **e**xecução do trabalho padronizado, reorganização do layout, implementação da gestão visual e aplicação do teste-piloto nos postos mais críticos (impressão e acabamento inicial); e (3) pós-implementação, que consistiu na consolidação dos ciclos de auditoria, apuração contínua dos indicadores multidimensionais e reinvestimento das economias obtidas em melhorias ergonômicas.

4.5 Painel de indicadores de desempenho da sustentabilidade

Para o monitoramento contínuo dos efeitos das melhorias propostas no longo prazo, elaborou-se um painel com 20 indicadores de desempenho balizados pelas três dimensões do TBL, conforme detalhado nos Quadros 10, 11 e 12.

Quadro 10 – Indicadores de desempenho econômico

Indicador	Descrição	Período	Fórmula de cálculo
Lead time	Mede o tempo decorrido entre a chegada de um pedido efetuado por um cliente até a entrega do produto	Mensal	Tempo de atendimento + tempo de produção + tempo de finalização do pedido
Tempo de ciclo	Mede o tempo decorrido desde o início de um processo até o seu fim	Mensal	(Tempo de início do processo - tempo de fim do processo) / número de unidades produzidas
Tempo de *setup*	Mede o tempo decorrido na troca do processo da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote	Mensal	Tempo de troca do processo da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote
Consumo de recursos	Mede a quantidade de matéria-prima utilizada ou retirada nos processos	Mensal	Valor total gasto com matéria-prima / quantidade produzida
Tempo médio de falha	Mede o tempo médio entre as falhas	Mensal	Tempo total da máquina em funcionamento / número de falhas ocorridas
Produtividade no trabalho	Mede a produtividade dos funcionários em relação à quantidade produzida	Mensal	(Horas trabalhadas X número de funcionários) / quantidade produzida
Número de reclamações de clientes	Mede o número de reclamações de clientes	Mensal	Reclamações de clientes / quantidade produzida
Nível de serviço	Mede a eficácia no cumprimento dos prazos	Mensal	Quantidade de pedidos entregues fora do prazo / quantidade total de pedidos

Indicador	Descrição	Período	Fórmula de cálculo
Ponto de pedido	Mede o momento certo de fazer um pedido novo ao fornecedor, e, assim, evitar o desabastecimento no estoque da empresa	Semanal	(Consumo médio X tempo de reposição) + estoque de segurança
Perdas de estoque	Mede o número de itens estocados de forma incorreta, produtos em excesso e mercadorias danificadas	Mensal	∑ da quantidade de materiais danificados
Giro de estoque	Mede a rotatividade das matérias-primas em um determinado período de tempo	Semanal	Quantidade de saída de matéria-prima / Volume médio em estoque

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 11 – Indicadores de desempenho ambiental

Indicador	Descrição	Período	Fórmula de cálculo
Resíduos gerados	Mede o desperdício por unidade de produção	Mensal	Quantidade de resíduos gerados / quantidade produzida
Consumo de energia	Mede o consumo de energia utilizado por unidade produzida	Mensal	Consumo de energia / unidades produzidas
Consumo de água	Mede o consumo de água utilizada nos processos	Mensal	Consumo de água / unidades produzidas
Resíduos reciclados	Mede a quantidade de resíduos destinados a reciclagem	Mensal	Quantidade de resíduos reciclados / quantidade de resíduos gerados

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 10 – Indicadores de desempenho social

Indicador	Descrição	Período	Fórmula de cálculo
Sugestões de melhoria	Mede o número de sugestões de melhoria	Semestral	Número de sugestões de melhoria / número de funcionários
Riscos de saúde e segurança dos funcionários	Mede os riscos para a saúde e segurança dos colaboradores através do número de horas não trabalhadas por motivos de saúde	Mensal	(Número de horas não trabalhadas por índice de saúde/ (carga horária X número de funcionários no processo produtivo)) X 100
Treinamentos	Mede a quantidade de treinamentos promovidos	Semestral	∑ da quantidade de treinamentos promovidos por semestre
Nível de absenteísmo	Mede as faltas, os atrasos e os afastamentos de um funcionário	Semanal	Horas não trabalhadas / horas efetivamente trabalhadas
Ações sociais	Mede a quantidade de ações sociais	Anual	∑ da quantidade de ações sociais promovidas por ano
Nível de reconhecimento da marca	Mede a performance da marca	Mensal	∑ da quantidade de interação por meio das redes sociais

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso aplicou o Sus-VSM integrado à hierarquia 3R da economia circular e aos pilares do TBL em uma indústria gráfica brasileira de pequeno porte.

O diagnóstico revelou um descompasso entre o tempo de agregação de valor (67 segundos) e o *lead time* fabril total (62,3 dias), causado pela superprodução e pelo acúmulo de estoques em processo. Em relação às métricas sociais, os componentes mecânicos de alta velocidade destacaram-se como o risco mais expressivo à segurança, enquanto o setor de impressão exibiu a maior sobrecarga postural e ergonômica (PLI = 43,812).

A análise de causalidade estendida ao TBL demonstrou que os impactos sociais responderam por 56% das anomalias identificadas, superando os efeitos financeiros (24%) e ambientais (20%). Esse resultado confirma que a dimensão humana não pode ser tratada de forma secundária nas transformações enxutas em pequenas e médias empresas.

Como resposta prática, o artigo estruturou um plano de ação diretivo baseado na metodologia 5W1H e um sistema composto por 20 indicadores de sustentabilidade, fornecendo um roteiro de implementação para gestores de PMEs industriais.

Em termos teóricos, a pesquisa contribui para a literatura ao demonstrar a aderência e a eficácia de um *framework* empírico que entrelaça o Sus-VSM com métricas sociais quantificáveis e princípios de circularidade em ambientes com alta variabilidade e arranjo funcional.

A principal limitação deste trabalho reside na restrição empírica a um estudo de caso único, o que impede generalizações estatísticas. Assim, recomenda-se para pesquisas futuras, o mapeamento e a validação em campo do Sus-VSM do estado futuro após a implementação integral das contramedidas do plano 5W1H; a aplicação comparativa dessa metodologia em empresas do setor gráfico de médio e grande porte para avaliar o impacto da escala organizacional na circularidade de resíduos e nos indicadores ergonômicos; e o desenvolvimento de análises de custo-benefício que relacionem os investimentos em melhorias ergonômicas com a redução de perdas por absenteísmo e rotatividade de colaboradores.

REFERÊNCIAS

ABREU, M.F.; ALVES, A.C.; MOREIRA, F. Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. **Energy**, v. 137, p. 846-853, 2017.

ALCALDE-CALONGE, A.; RUIZ-PALOMINO, P.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J. Fostering circular economy in small and medium-sized enterprises: The role of social capital, adaptive capacity, entrepreneurial orientation and a pro-sustainable environment. *Business Strategy and the Environment*, v. 33, n. 4, p. 3948-3965, 2024.

ALVES, J.R.X.; ALVES, J. Production management model integrating the principles of lean manufacturing and sustainability supported by the cultural transformation of a company. **International Journal of Production Research.** v. 53, n. 17, p. 5320-5333, 2015.

BELHADI, A.; TOURIKI, F. E.; EL FEZAZI, S. Benefits of adopting lean production on green performance of SMEs: a case study. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 11, p. 873-894, 2018.

BHATTACHARYA, A.; NAND, A.; CASTKA, P. Lean-green integration and its impact on sustainability performance: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117697-117712, 2019.

BUSH, A. *et al*. Investigating lean methodology for energy efficient manufacturing. **Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part II.** Springer Berlin Heidelberg, p. 508-517, 2014.

CHOUDHARY, S. *et al.* An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the UK. **Production planning & control**, v. 30, n. 5-6, p. 353-368, 2019.

ELKINGTON, J.; ROWLANDS, I.H. Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. **Alternatives Journal**, v. 25, n. 4, p. 42-43, 1999.

FAULKNER, W.; BADURDEEN, F. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. **Journal of cleaner production**, v. 85, p. 8-18, 2014.

FERCOQ, A.; LAMOURI, S.; CARBONE, V. Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. **Journal of Cleaner production**, v. 137, p. 567-578, 2016.

FERREIRA, C. C. R. A.; SCAVARDA, A.; REIS, A. C. Metrics for measuring industrial sustainability performance in small and medium-sized enterprises. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 73, n. 11, p. 46-68, 2023.

GANDHI, N.S.; THANKI, S.J.; THAKKAR, J.J. Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 675-689, 2018.

GARCÍA, C.; LEONE, I.; WILLIAMS, E. Buenas Prácticas Ambientales em Industrias Gráficas y Afines. **Unión Gráfica Argentina Regional, Rosario**, p. 11-31, 2014.

GARZA-REYES, J.A. *et al*. A PDCA-based approach to environmental value stream mapping (E-VSM). **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 335-348, 2018.

GARZA-REYES, J.A. Lean and green–a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18-29, 2015.

GARZA-REYES, J.A. *et al*. Lean and green–synergies, differences, limitations, and the need for Six Sigma. In: **Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part II**. Springer Berlin Heidelberg, 2014. P. 71-81.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GOVINDAN, K.; DIABAT, A.; SHANKAR, K.M. Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. Journal of Cleaner Production, v. 96, p. 182-193, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.054

HAAS, W. *et al*. How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of industrial ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HARTINI, S.; CIPTOMULYONO, U.; ANITYASARI, M. Manufacturing sustainability assessment using a lean manufacturing tool: A case study in the Indonesian wooden furniture industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 5, p. 943-971, 2020.

HOLLMANN, S. et al. Validation of a questionnaire for assessing physical work load. **Scandinavian journal of work, environment & health**, v. 25, n. 2, p. 105-114, 1999.

JAREBRANT, C. *et al.* ErgoVSM: a tool for integrating value stream mapping and ergonomics in manufacturing. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 26, n. 2, p. 191-204, 2016.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KIURSKI, J. *et al*. The impact factors of the environmental pollution and workers health in printing industry. **Proceedings of world academy of science, engineering and technology**, V. 6, p. 755-758, 2012.

KORHONEN, J. *et al*. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of cleaner production**, v. 175, p. 544-552, 2018.

KULIGOVSKI, C. et al. 5S and 5W2H Tools Applied to Research Laboratories: Experience from Instituto Carlos Chagas-FIOCRUZ/PR for Cell Culture Practices. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, 2021.

KURDVE, M.; BELLGRAN, M. Green lean operationalization of the circular economy concept on production shop floor level. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123223-123234, 2021.

MACHADO, M.C; VIVALDINI, M.; DE OLIVEIRA, O.J. Production and supply-chain as the basis for SMEs' environmental management development: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123141, 2020.

MIGUEL, P.A.C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, p. 216-229, 2007.

MÜLLER, E.; STOCK, T.; SCHILLIG, R. Energy Value-Stream Mapping-A Method to Optimize Value-Streams in Respect of Time and Energy Consumption. In: **Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability: Proceedings of the 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013), Munich, Germany, October 6th-9th, 2013**. Springer International Publishing, p. 285-290, 2014.

NOWICKA, K.; BENTKOWSKA, K. Circular economy from companies and consumers perspectives: toward value co-creation. *Economics and Environment*, v. 90, n. 3, p. 788-811, 2024.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Crc Press, 1988.

SAJAN, M.P.; SHALIJ, P.R.; RAMESH, A. Lean manufacturing practices in Indian manufacturing SMEs and their effect on sustainability performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 6, p. 772-793, 2017.

SHARMA, A.; KUMAR, D.; ARORA, N. An integrated Lean production-sustainability framework for evaluation and improvement of the performance of pharmaceutical factory. *Journal of Cleaner Production*, v. 370, p. 133502, 2022.

TEIXEIRA P.C.A. *et al*. Combining lean and green practices to achieve a superior performance: The contribution for a sustainable development and competitiveness - An empirical study on the Portuguese context. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, v. 29, n. 4, p. 887-903, 2022.

TEIXEIRA, P. *et al*. Connecting lean and green with sustainability towards a conceptual model. **Journal of Cleaner Production**, v. 322, p. 129047-129062, 2021.

THANKI, S.; GOVINDAN, K.; THAKKAR, J. An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 284-298, 2016.

VILLALOBOS, G, *et al.* Environmental impact assessment of a graphic company that uses offset lithographic printing. **Uniciencia**, v. 35, n. 1, p. 367-383, 2021.

VINODH, S.; BEN, R.; ASOKAN, P. Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, p. 279-295, 2016.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. Lean thinking:banish waste and create wealth in your corporation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 11, p. 1148-1148, 1997.

WONG, W.P.; WONG, K.Y. Synergizing an ecosphere of lean for sustainable operations. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 51-66, 2014.

YIN, R. K. *Case study research and applications: Design and methods*. 6th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018.

Biografia do(s) autor(es)

Marina Aparecida Barbosa de Souza
Engenheira de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), desenvolveu pesquisas nas áreas de sistemas produtivos, reconfigurabilidade e Lean Green, com aplicação de métodos estatísticos multivariados na análise de dados de indústrias brasileiras. Possui experiência em gestão estratégica, melhoria contínua, gestão da qualidade, otimização de processos e indicadores de desempenho. Durante sua formação, integrou o Programa de Educação Tutorial (PET), atuando em projetos de ensino, pesquisa e extensão, além de participar da elaboração e publicação de trabalhos científicos. Seus interesses de pesquisa incluem gestão estratégica, Lean, melhoria contínua, desempenho operacional e ambiental, sistemas produtivos e desenvolvimento organizacional.

Nayara Ferreira da Silva Brito
Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com formação concluída em 2023, e pós-graduanda em Gestão da Qualidade e Processos pela FM2S. Possui experiência nas áreas de gestão de projetos, processos, melhoria contínua e inovação. Atualmente, atua no setor de mineração, no contexto de reparação ambiental, com foco em gestão de processos e atividades relacionadas a PMO, envolvendo acompanhamento de projetos, indicadores, planos de ação e organização de informações para apoio à gestão.

Denize Aparecida Gualberto
Engenharia de Produção (2023) pela UNIFEI e pós-graduanda em Ciência de Dados e Inteligência Artificial pela UNINTER (2026). Desenvolve trabalhos na área de melhoria contínua e gestão de processos, com foco em Lean, e tem experiência em otimização de processos nos setores hospitalar, cultural e industrial. Atua nas áreas de gestão contratual e dados.

Ana Carolina Oliveira Santos
Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica (2005), mestrado (2009) e doutorado (2019) em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Atualmente, é docente na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Campus de São Sebastião do Paraíso e membro dos Grupos de Pesquisa em Qualidade e Produtividade (GEQProd) e Metodologias Ativas no Ensino Superior (MAES). Tem experiência em Engenharia de Produção, atuando principalmente em projetos e pesquisas nas áreas de gestão de operações, desenvolvimento de produtos e avaliação de desempenho.

Isabela Maganha
Professora Assistente na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Professora Adjunta na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) de outubro/2019 a janeiro/2025. Doutora em Engenharia Mecânica, área de Gestão e Robótica Industrial (2019) pela Universidade de Coimbra. Diploma de doutorado reconhecido pela Universidade Federal de Minas Gerais, em Engenharia de Produção (2019). Engenheira de Produção (2011) pela UNESP. Desenvolve trabalhos e pesquisas principalmente na área de gestão da produção e pesquisa operacional. Trabalhou em empresas multinacionais, de diferentes setores industriais, nas seguintes áreas: gestão da qualidade, garantia da qualidade, controle da qualidade, gestão da produção e planejamento e controle da produção.



Artigo recebido em: 17/03/2026 e aceito para publicação em: 08/06/2026
DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i4.4885