GOVERNANÇA DE INTERFACES: POR QUE SERVIÇOS PROFISSIONAIS REGULADOS EXIGEM MAIS DO QUE FERRAMENTAS LEAN — EVIDÊNCIAS DE UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA

INTERFACE GOVERNANCE: WHY REGULATED PROFESSIONAL SERVICES REQUIRE MORE THAN LEAN TOOLS — EVIDENCE FROM A METROLOGY LABORATORY

EMILIANA MARGOTTI
FUNDAÇÃO CERTI

BIANCA COSTA AMORIM
FUNDAÇÃO CERTI

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

GOVERNANÇA DE INTERFACES: POR QUE SERVIÇOS PROFISSIONAIS REGULADOS EXIGEM MAIS DO QUE FERRAMENTAS LEAN — EVIDÊNCIAS DE UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA

Objetivo do estudo
Analisar um laboratório de metrologia sob a ótica da teoria da complexidade, derivando proposições teóricas transferíveis sobre a relação entre complexidade, pensamento Lean e a transformação digital da gestão da qualidade em serviços profissionais regulados.

Relevância/originalidade
O estudo aborda a lacuna sobre porque iniciativas Lean falham em serviços empresariais intensivos em conhecimento (KIBS) regulados. A originalidade reside em conceituar laboratórios de metrologia como "KIBS de alta rastreabilidade" e utilizar relatórios reais de auditoria ISO/IEC 17025.

Metodologia/abordagem
Pesquisa qualitativa e teórico-analítica mediante estudo de caso único revelador em um laboratório acreditado de metrologia dimensional. Os dados foram coletados por observação não participante, entrevistas semiestruturadas com atores-chave e análise documental do relatório de auditoria interna ISO/IEC 17025.

Principais resultados
O desperdício Lean em KIBS regulados emerge de interdependências recíprocas nas interfaces. A conformidade aparente mascara a dependência estrutural do conhecimento tácito individual, enquanto a digitalização atua como governança aumentada que redistribui — em vez de eliminar — a complexidade relacional.

Contribuições teóricas/metodológicas
Reposiciona o Lean em serviços como "governança de interfaces" e não como conjunto de ferramentas. Estende a gestão da complexidade aos KIBS regulados, conceitua a fragilidade latente por competência e demonstra empiricamente que a digitalização redistribui a complexidade relacional no nível micro-organizacional.

Contribuições sociais/para a gestão
Orienta gestores a mapear interfaces críticas e incorporar conhecimento tácito em rotinas vivas. Socialmente, ilumina as condições organizacionais que sustentam a confiabilidade da infraestrutura da qualidade, impulsionando a competitividade industrial e a confiança técnica em economias emergentes.

Palavras-chave: Teoria da complexidade, Lean Service, Governança de interfaces, KIBS regulados, Transformação digital da qualidade

INTERFACE GOVERNANCE: WHY REGULATED PROFESSIONAL SERVICES REQUIRE MORE THAN LEAN TOOLS — EVIDENCE FROM A METROLOGY LABORATORY

Study purpose
To analyze a metrology laboratory through the lens of complexity theory, deriving transferrable theoretical propositions regarding the relationship among complexity, Lean thinking, and the digital transformation of quality management in regulated professional services.

Relevance / originality
The study addresses the gap explaining why Lean initiatives often underperform in regulated knowledge-intensive business services (KIBS). Its originality lies in conceptualizing metrology laboratories as "high-traceability KIBS" and utilizing actual internal ISO/IEC 17025 audit reports.

Methodology / approach
Qualitative, theoretical-analytical research using a single revelatory case study of an accredited dimensional metrology laboratory. Data was collected via non-participant observation, semi-structured interviews with key actors, and document analysis of an ISO/IEC 17025 internal audit report.

Main results
Lean waste in regulated KIBS emerges from reciprocal interdependencies across subsystem interfaces. Apparent compliance masks structural reliance on individuals' tacit knowledge, while digitalization acts as augmented governance that redistributes—rather than suppresses—relational complexity.

Theoretical / methodological contributions
Repositions Lean in services as "interface governance" rather than a toolset. It extends complexity management to regulated KIBS, conceptualizes latent fragility due to competence, and empirically demonstrates that digitalization redistributes relational complexity at the micro-organizational level.

Social / management contributions
Guides managers to map critical interfaces and embed tacit knowledge into living routines. Socially, it illuminates organizational conditions that sustain quality infrastructure reliability, boosting industrial competitiveness and technical trust in emerging economies.

Keywords: Complexity theory, Lean Service, Interface governance, Regulated KIBS, Digital transformation of quality

GOVERNANÇA DE INTERFACES: POR QUE SERVIÇOS PROFISSIONAIS REGULADOS EXIGEM MAIS DO QUE FERRAMENTAS LEAN — EVIDÊNCIAS DE UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA

1 Introdução

A infraestrutura da qualidade — o sistema de instituições e processos de metrologia, normalização, acreditação, avaliação da conformidade e vigilância de mercado — constitui uma condição estrutural para a competitividade industrial e para a inserção de economias emergentes em cadeias globais de valor (Dias, 2007; UNIDO, 2016). Sua importância deixou de ser apenas presumida: em análise econométrica em painel para países europeus, Blind, Neuhäusler e Schubert (2026) evidenciam que os elementos da infraestrutura da qualidade estão significativamente associados ao Produto Interno Bruto, com retornos ainda maiores em economias de renda mais alta — o que confere urgência ao fortalecimento desse sistema em economias em desenvolvimento. Entre esses elementos, a metrologia ocupa posição de crescente destaque analítico, respondendo por cerca de um quarto da literatura recente sobre infraestrutura da qualidade (Blind et al., 2026). No caso brasileiro, essa centralidade é concreta: o país figura entre os sistemas de infraestrutura da qualidade mais desenvolvidos fora dos grandes centros industriais — 17º entre 185 economias no Global Quality Infrastructure Index (GQII) 2025 — e sua posição mais forte é justamente em metrologia, componente no qual ocupa a 8ª colocação mundial, bem à frente de suas posições em normalização (21º) e acreditação (34º) (Harmes-Liedtke et al., 2025). Esse protagonismo metrológico é sustentado por instituições sólidas — notadamente o Inmetro e o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) —, ainda que o desempenho comercial do país permaneça aquém de seu potencial em razão do chamado "Custo Brasil" (GIZ/GPQI, 2022). Medições confiáveis reduzem incertezas técnicas, sustentam a rastreabilidade e viabilizam a confiança entre agentes econômicos. Nesse arranjo, laboratórios de metrologia deixaram de ocupar posição meramente operacional e passaram a funcionar como nós críticos de coordenação técnica, cuja falha reverbera por toda a cadeia produtiva. Para garantir a eficiência operacional desses nós críticos, as organizações têm recorrido a metodologias consolidadas de gestão de fluxos.

Paralelamente a busca por eficiência estrutural, o pensamento enxuto consolidou-se como a principal gramática de melhoria de processos e vem sendo amplamente transposto para o setor de serviços (Womack & Jones, 1996; Arfmann & Barbe, 2016; Torn & Roy, 2021). Contudo, essa transposição enfrenta um problema recorrente: em serviços profissionais intensivos em conhecimento e regulação, muitas iniciativas Lean produzem resultados aquém do esperado, e a literatura ainda não explica satisfatoriamente por quê. Predomina uma leitura instrumental, centrada na importação de ferramentas da manufatura, que trata desperdícios e gargalos como desvios localizados, passíveis de eliminação etapa a etapa. Essa visão sugere que as falhas de implementação decorrem menos de barreiras práticas e mais de uma negligência conceitual sobre a natureza dessas organizações

Partindo do pressuposto de que o problema reside na base conceitual adotada, este artigo sustenta que essa lacuna é, antes de tudo, teórica, e que a teoria da complexidade oferece a lente explicativa ausente. Em organizações caracterizadas como sistemas sociotécnicos complexos, o desempenho não emerge da soma de etapas eficientes, mas da qualidade das interações entre pessoas, normas, tecnologias e informação, com relações causais não lineares e resultados emergentes (Morin, 2006; Saurin, Rooke, & Koskela, 2013; Uotila & Morrell, 2025). Se assim for, a eficácia do Lean em tais contextos dependeria menos da eliminação pontual de desperdícios e mais da reorganização das interdependências que produzem esses desperdícios. Para investigar a viabilidade empírica dessa proposição teórica, faz-se necessário analisar um ambiente operacional onde essas variáveis coexistam de forma intensa.

Como reflexo ideal dessa convergência de fatores, o laboratório de metrologia constitui um campo empírico particularmente revelador deste estudo. Nele convergem alta densidade normativa (ISO/IEC 17025), forte dependência informacional, coordenação entre atividades técnicas e administrativas, exigências de rastreabilidade e crescente digitalização dos serviços metrológicos (Barbosa, Sousa, Almeida, & Calili, 2022; Margotti, Oliveira, & Donatelli, 2019b). Estudos anteriores sobre a gestão da qualidade nesse tipo de laboratório já apontavam a reelaboração documental e a reorganização do sistema de gestão como desafios centrais (Margotti, Guarnieri, & Oliveira, 2019a), e a escassez de estudos na interseção entre Lean e metrologia, documentada por Tanaro et al. (2020), reforça a originalidade empírica deste trabalho.

Mais do que um caso setorial, o laboratório acreditado pode ser lido como instância de uma classe organizacional mais ampla: os serviços empresariais intensivos em conhecimento (knowledge-intensive business services, KIBS). A pesquisa sobre KIBS mostra que esses serviços se organizam sob complexidade institucional e dependência de conhecimento tácito, com tensões entre lógicas profissionais e gerenciais que moldam distintos modos de lidar com a complexidade (Høiland & Klemsdal, 2022), e que a articulação entre KIBS e teoria da complexidade é uma agenda ativa e crescente (Song, Yu, & Peng, 2024). Essa literatura, contudo, raramente desce ao nível do processo interno de serviço. O laboratório metrológico é um caso revelador de uma subclasse ainda pouco nomeada — os KIBS de alta rastreabilidade —, na qual o registro documental não é controle acessório, mas parte constitutiva do próprio serviço entregue, e na qual a acreditação compulsória impõe densidade normativa raramente reunida em estudos de KIBS de consultoria ou tecnologia da informação. Essa singularidade do objeto de estudo impõe o delineamento de questionamentos específicos sobre sua dinâmica organizacional.

Diante desse cenário de alta densidade regulatória, a pergunta que orienta o estudo é: em serviços profissionais de alta densidade normativa e regulatória (KIBS regulados), por que mecanismo a confiabilidade do sistema de gestão se dissocia da competência técnica individual, e como a digitalização reconfigura — em vez de eliminar — as interdependências que sustentam essa confiabilidade? Subordinadamente, indaga-se como a teoria da complexidade pode reconfigurar a compreensão e a aplicação do pensamento enxuto nesse tipo de serviço. O objetivo é analisar um laboratório de metrologia sob a ótica da complexidade e, a partir dessa análise, derivar proposições teóricas transferíveis sobre a relação entre complexidade, Lean e transformação digital da qualidade.

Para responder de maneira robusta a essas questões, a contribuição do artigo é tripla e dialoga com três conversas teóricas simultaneamente. Primeiro, estende a lógica de gestão da complexidade já estabelecida para a servitização da manufatura (Ardolino, Saccani, & Eloranta, 2021) a um domínio ainda não testado por essa lente — os serviços profissionais regulados —, mostrando que o mecanismo de interdependência que limita a eficácia do Lean opera, nesses ambientes, com intensidade ainda maior. Segundo, ao evidenciar que a confiabilidade de um laboratório tecnicamente competente permanece estruturalmente frágil quando repousa sobre conhecimento tácito individual, o estudo leva a literatura de complexidade institucional em serviços profissionais (Høiland & Klemsdal, 2022) ao nível do processo operacional, e não apenas da lógica institucional. Terceiro, ao demonstrar empiricamente, no nível micro-organizacional, que a digitalização atua como mecanismo de coordenação e não de automação, o estudo oferece a primeira evidência de caso para a tese, até aqui conceitual, de que a governança digital redistribui — em vez de eliminar — complexidade relacional (Hanisch, Goldsby, Fabian, & Oehmichen, 2023). Empiricamente, o estudo apoia-se em evidência rara na literatura de Lean Service, predominantemente baseada em autorrelato: um relatório real de auditoria interna ISO/IEC 17025, com não conformidades documentadas. Socialmente, ao mostrar o que sustenta a confiabilidade de um nó da infraestrutura da qualidade, contribui para

o debate sobre as condições organizacionais que viabilizam competitividade e confiança técnica em economias emergentes. O artigo prossegue com o referencial teórico, a metodologia, a análise organizada em torno de quatro proposições e as considerações finais.

2 Referencial teórico

2.1 Infraestrutura da qualidade e o papel estratégico da metrologia

A infraestrutura da qualidade (IQ) é definida como o sistema composto por organizações públicas e privadas, políticas, marcos legais e práticas necessários para sustentar e aprimorar a qualidade, a segurança e a adequação de bens, serviços e processos, apoiando-se em cinco pilares: metrologia, normalização, acreditação, avaliação da conformidade e vigilância de mercado (UNIDO, 2016; Dias, 2007). Longe de ser um arranjo meramente técnico, a IQ funciona como bem público que reduz assimetrias de informação entre produtores e consumidores, viabiliza a confiança em transações e credencia economias a participar de cadeias globais de valor.

A relevância econômica desse sistema, historicamente presumida, passou a contar com evidência econométrica robusta. Analisando um painel de países europeus, Blind, Neuhäusler e Schubert (2026) demonstram que os elementos da IQ — medidos por proxies como o estoque de normas, as certificações ISO 9001 (avaliação da conformidade) e a filiação ao International Accreditation Forum (acreditação) — estão significativamente associados ao Produto Interno Bruto, com efeitos substancialmente maiores em economias de renda alta, o que sugere retornos crescentes do investimento em qualidade à medida que as economias amadurecem. Os autores também evidenciam a proeminência analítica da metrologia, que responde por cerca de um quarto da literatura revisada e cujo papel é documentado tanto na pesquisa e no desenvolvimento quanto na produtividade agregada.

No Brasil, esse sistema é estruturado em torno do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro), tendo o Inmetro e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como instituições centrais, com raiz histórica que remonta à institucionalização da metrologia no país (Dias, 2007; GIZ/GPQI, 2022). O desempenho comparado é revelador: no Global Quality Infrastructure Index (GQII) 2025, o Brasil ocupa a 17ª posição entre 185 economias, mas alcança o 8º lugar mundial em metrologia — muito à frente de normalização (21º) e acreditação (34º) (Harmes-Liedtke et al., 2025). A metrologia é, portanto, simultaneamente o pilar mais forte da IQ brasileira e um nó crítico do qual depende a confiança técnica de toda a cadeia, o que confere relevância estratégica ao estudo de como laboratórios metrológicos sustentam sua confiabilidade no cotidiano.

2.2 Complexidade organizacional: da ordem à emergência

A teoria da complexidade opõe-se às abordagens reducionistas que concebem organizações como estruturas decomponíveis em partes independentes. Sistemas complexos são compostos por múltiplos elementos localmente direcionados cujas interações não lineares produzem comportamentos emergentes, dificilmente explicáveis pela análise isolada de componentes (Morin, 2006). Uotila e Morrell (2025) sintetizam essa literatura ao definir a complexidade como um domínio organizacional situado entre a ordem e o caos, no qual relações causais são não lineares e resultados emergem da interação entre elementos, oferecendo um vocabulário preciso para distinguir problemas complexos de problemas meramente complicados.

Aplicada à produção, essa perspectiva reinterpreta o desempenho como propriedade relacional. Saurin, Rooke e Koskela (2013) mostram que sistemas produtivos operam como sistemas complexos adaptativos, nos quais melhoria e confiabilidade dependem de acoplamentos consistentes entre regras, práticas e atores; quando esses acoplamentos enfraquecem, a variabilidade cresce e o sistema torna-se vulnerável a falhas e retrabalhos. Essa

formulação é especialmente pertinente a laboratórios metrológicos, em que pequenas variações em registros, interpretação de requisitos ou coordenação entre áreas podem gerar consequências desproporcionais para o resultado global.

Quatro atributos operacionais da complexidade orientam a análise deste estudo. O primeiro é a interdependência: os elementos do sistema não funcionam de forma autônoma, de modo que o desempenho de uma etapa é condicionado pelo estado das demais. O segundo é a não linearidade: pequenas causas podem produzir efeitos desproporcionais, e intervenções locais nem sempre geram melhorias globais. O terceiro é a emergência: propriedades como confiabilidade, fluidez e qualidade não residem em componentes isolados, mas surgem do padrão de interações. O quarto é a adaptação: atores ajustam continuamente seu comportamento às circunstâncias, o que gera resiliência, mas também variabilidade e dependência de conhecimento tácito (Morin, 2006; Saurin et al., 2013; Uotila & Morrell, 2025). Esses quatro atributos fornecem as lentes com que os achados empíricos serão interpretados nas seções seguintes.

A interdependência, primeiro desses atributos, admite graduação teórica que é decisiva para o argumento deste artigo. A tipologia clássica de Thompson (1967), ainda mobilizada em análises recentes de coordenação organizacional, distingue três formas: a interdependência agrupada (*pooled*), em que as partes contribuem de modo independente para um todo comum; a sequencial, em que a saída de uma etapa é a entrada da seguinte, em ordem previsível; e a recíproca, em que as partes se afetam mutuamente, sem ordenação estável de precedentes e com ajustes contínuos entre si. Essa distinção é crucial porque as ferramentas enxutas clássicas — mapeamento de fluxo de valor, padronização de ciclo, produção puxada — pressupõem interdependência predominantemente sequencial, na qual o fluxo pode ser ordenado e otimizado etapa a etapa. Em serviços profissionais regulados, como se argumentará, prevalece a interdependência recíproca entre atendimento, programação, execução técnica, gestão documental e qualidade — o que ajuda a explicar, em termos teóricos precisos, por que instrumentos concebidos para fluxos sequenciais perdem eficácia nesses ambientes.

2.3 Lean em serviços: do instrumento à interdependência

Originário do Sistema Toyota de Produção, o pensamento enxuto sintetiza-se em cinco princípios — valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição (Womack & Jones, 1996). Sua expansão para os serviços deu origem ao Lean Service, com aplicações em saúde, educação e administração pública. Revisões, contudo, advertem contra a transposição mecânica de ferramentas manufatureiras: variabilidade, simultaneidade, intensidade informacional e coprodução com o cliente tornam os serviços qualitativamente distintos (Arfmann & Barbe, 2016; Torn & Roy, 2021).

Arfmann e Barbe (2016) argumentam que o valor do Lean em serviços depende de interpretação contextualizada, e não do uso superficial de instrumentos. Essa advertência, porém, raramente é fundamentada teoricamente: falta uma explicação de por que a interpretação contextual importa. É precisamente aqui que a teoria da complexidade se mostra produtiva, ao sugerir que, em serviços de alta interdependência, os desperdícios não residem nas etapas, mas nas interfaces entre elas. No caso específico da metrologia, Tanaro et al. (2020) documentam a escassez de estudos na interseção Lean-metrologia, evidenciando uma lacuna empírica e conceitual.

Essa releitura tem consequências para a própria noção de desperdício. Na manufatura, os sete desperdícios clássicos — superprodução, espera, transporte, superprocessamento, estoque, movimentação e defeitos — são majoritariamente físicos e observáveis no fluxo de materiais. Em serviços profissionais intensivos em conhecimento, os desperdícios mais críticos são informacionais e relacionais: retrabalho por requisitos mal especificados, espera por decisões, reconstituição de informações dispersas, duplicação de registros e perda de

rastreabilidade. Tais perdas não se manifestam em uma estação de trabalho, mas nas transições entre pessoas, sistemas e documentos — ou seja, nas interfaces. Isso explica por que ferramentas concebidas para eliminar desperdícios visíveis em linhas de produção têm eficácia limitada quando transpostas sem mediação a contextos em que o objeto do trabalho é a própria informação (Torn & Roy, 2021; Saurin et al., 2013).

2.4 Transformação digital e Quality 4.0 como governança da complexidade

A transformação digital não se reduz à adoção de tecnologias, envolvendo mudanças em processos, modelos de valor e capacidades organizacionais (Fitzgerald et al., 2013; Matt, Hess, & Benlian, 2015; Verhoef et al., 2021). Aplicada à gestão da qualidade, essa transformação é designada como Quality 4.0: a integração entre as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 — conectividade, análise de dados, computação em nuvem e inteligência artificial — e os princípios clássicos da qualidade, com o propósito de tornar processos mais visíveis, rastreáveis e adaptáveis (Sader, Husti, & Daróczi, 2022; Dias, Carvalho, & Sampaio, 2022). Mais do que digitalizar controles pontuais, o Quality 4.0 desloca o eixo da qualidade da inspeção para a governança de dados e da informação ao longo do sistema.

Na metrologia, especificamente, Barbosa et al. (2022) mostram, em revisão sistemática de 160 artigos, que a digitalização se organiza em torno da digitalização de serviços metrológicos, do tratamento de grandes volumes de dados, de sistemas de comunicação e de instrumentos virtuais, envolvendo arquiteturas de informação, rastreabilidade e integração com sistemas produtivos digitais. Essa agenda converge com as próprias evidências empíricas sobre laboratórios metrológicos, nas quais a incorporação de tecnologias habilitadoras aparece associada à reconfiguração das exigências de integração, análise de dados e novos modelos de serviço (Margotti et al., 2019b). O valor dessa digitalização, ademais, não é apenas técnico: a análise econométrica de Blind et al. (2026) sugere que os elementos da infraestrutura da qualidade — metrologia entre eles — contribuem de forma mensurável para a produtividade e o crescimento econômico, o que confere consequência sistêmica às decisões de digitalização desses serviços.

Um limite teórico dessa literatura, porém, é seu caráter predominantemente descritivo: a agenda de Quality 4.0 tem se concentrado em *roadmaps* de maturidade tecnológica e em desafios de adoção de tecnologias (Dias, Dias, Carvalho, & Sampaio, 2024; Fadilasari, Garza-Reyes, Kandasamy, Ghatak, & Joshi, 2024), sem ancorar a transformação digital da qualidade em uma teoria de mecanismo organizacional. Falta, em outras palavras, explicar não o que adotar, mas por que e como a digitalização altera o funcionamento de um sistema de qualidade complexo.

É nesse ponto que a lente da complexidade se mostra produtiva. Interpretada por ela, a digitalização deixa de ser lida como automação de tarefas ou soma de ferramentas e passa a operar como mecanismo de coordenação de um sistema sociotécnico: torna visíveis fluxos, estabiliza demandas, reforça a rastreabilidade e atua diretamente sobre as interfaces em que se formam os desperdícios (Saurin et al., 2013; Barbosa et al., 2022). Sob essa ótica, a tecnologia não suprime a complexidade, mas a redistribui: ao reorganizar interdependências, cria novas dependências de integridade de dados, disciplina de uso e manutenção de sistemas. Essa leitura converge com a literatura emergente de governança digital, que propõe distinguir modos de governança — analógica, aumentada e automatizada —, cada um com mecanismos próprios de coordenação, controle e confiança, e sustenta que a digitalização recompõe, e não apenas acelera, as relações de troca (Hanisch et al., 2023). O que essa literatura reconhece no nível macro-organizacional — a digitalização como redistribuição de complexidade relacional — permanece, contudo, sem evidência no nível micro de um serviço profissional regulado, lacuna que este estudo endereça. Prepara-se, assim, o terreno para as proposições desenvolvidas na análise.

2.5 KIBS regulados: complexidade institucional em serviços profissionais

O laboratório de metrologia acreditado pertence à categoria dos serviços empresariais intensivos em conhecimento (KIBS), caracterizados por alta densidade de conhecimento especializado, coprodução de valor com o cliente e forte dependência de julgamento profissional. A literatura sobre esses serviços tem mostrado que sua complexidade não é apenas técnica, mas institucional: lógicas profissionais e gerenciais coexistem em tensão, e a forma como a organização lida com a complexidade depende de como concilia essas lógicas e distribui papéis entre quem executa e quem gere (Høiland & Klemsdal, 2022). A articulação entre KIBS e teoria da complexidade é uma linha de pesquisa em expansão, embora concentrada em níveis macro — portfólios de inovação, redes regionais, crescimento de novos empreendimentos (Song et al., 2024) —, raramente descendo ao nível do processo interno de serviço.

O caso examinado permite propor uma subcategoria ainda pouco explorada: os KIBS de alta rastreabilidade. Laboratórios de metrologia, laboratórios clínicos, atividades de auditoria e certos serviços jurídicos regulados compartilham um traço distintivo — o registro documental não é controle de qualidade acessório, mas parte constitutiva do próprio serviço entregue, sujeito a acreditação ou fiscalização externa compulsória. Nesses serviços, a densidade normativa e a interdependência recíproca atingem intensidade raramente encontrada em KIBS de consultoria estratégica ou de tecnologia da informação, o que os torna casos privilegiados para examinar o mecanismo pelo qual a confiabilidade do sistema se dissocia da competência técnica individual. É essa dissociação — e não a mera adaptação de ferramentas — que o presente estudo se propõe a explicar.

3 Metodologia

A pesquisa é qualitativa, de natureza aplicada e caráter teórico-analítico, orientada à construção de teoria a partir de um caso. Adotou-se o estudo de caso único, estratégia adequada para responder a questões do tipo “como” e “por que” sobre fenômenos contemporâneos em contexto real e reconhecidamente apropriada para o desenvolvimento e o refinamento de teoria quando o caso é revelador (Yin, 2018; Merriam & Tisdell, 2016). A escolha do caso único não é uma limitação de conveniência, mas uma decisão metodológica: laboratórios de metrologia reúnem, de forma concentrada, as condições de alta densidade normativa, interdependência e digitalização que a tese teórica busca examinar.

A unidade de análise é um laboratório de metrologia dimensional de uma instituição de ciência e tecnologia atuante na prestação de serviços tecnológicos, acreditado segundo a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 pela Rede Brasileira de Calibração. O caso foi selecionado por sua relevância teórica (*theoretical sampling*): elevada intensidade informacional, exigências de acreditação, rastreabilidade metrológica, articulação técnico-administrativa e presença de iniciativas de digitalização. Mais do que um caso de metrologia, trata-se de um caso revelador de KIBS de alta rastreabilidade (Høiland & Klemsdal, 2022; Song et al., 2024): a acreditação compulsória e a rastreabilidade documental constitutiva concentram, em um único ambiente, as condições que a tese teórica busca examinar, o que sustenta a generalização analítica pretendida para essa classe mais ampla de serviços profissionais regulados.

Os dados foram coletados por triangulação de fontes, combinando observação não participante do fluxo de atendimento e execução, entrevistas semiestruturadas com quatro atores-chave (coordenador do laboratório, gerente técnico, gerente da qualidade e responsável pelo atendimento) e análise documental. A análise documental apoiou-se, sobretudo, no relatório de auditoria interna do sistema de gestão laboratorial (relatório nº 01/2024, conduzido segundo a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 e as normativas da CGCRE), bem como em procedimentos operacionais, fluxogramas e registros do sistema de gestão. A triangulação e o encadeamento lógico entre problema, teoria e evidência sustentam a validade do constructo.

O tratamento seguiu a análise de conteúdo (Bardin, 2011), em pré-análise, exploração e interpretação, com categorias analíticas voltadas a (i) manifestações de complexidade organizacional e (ii) desperdícios e interdependências à luz do Lean e da digitalização. O estudo não busca generalização estatística, mas generalização analítica: as proposições derivadas do caso são teoricamente transferíveis a outros serviços profissionais intensivos em conhecimento e regulação (Yin, 2018).

O rigor da pesquisa foi buscado por meio de critérios reconhecidos para estudos qualitativos (Yin, 2018; Merriam & Tisdell, 2016). A validade do constructo apoiou-se na triangulação entre observação, entrevistas e documentos, evitando que as interpretações repousassem sobre uma única fonte. A validade interna foi perseguida pelo encadeamento explícito entre problema, categorias teóricas e evidência, de modo que cada proposição pudesse ser rastreada até os dados que a sustentam. A confiabilidade foi apoiada pela documentação sistemática do processo — roteiros de entrevista, protocolo de observação e registro das fontes documentais —, permitindo auditá-lo. A transferibilidade, por fim, foi tratada pela descrição densa do contexto do caso, que habilita o leitor a avaliar em que medida os achados se aplicam a outros ambientes. Reconhece-se, ainda, o caráter interpretativo da análise: as categorias foram construídas em diálogo entre a teoria e o material empírico, e não impostas a *priori*.

4 Análise e desenvolvimento teórico

A análise organiza-se em torno de quatro proposições que articulam a evidência do caso com a tese teórica do artigo. Cada proposição parte de um achado empírico, avança para a interpretação analítica e culmina em uma formulação teórica transferível.

4.1 Desperdício como fenômeno emergente

Os achados indicam que o laboratório opera como sistema sociotécnico complexo, no qual a confiabilidade depende da coordenação entre atendimento, programação, execução, gestão documental, sistemas digitais e qualidade. As principais perdas de desempenho não se concentram na atividade técnica de medição — as calibrações observadas em campo e nas instalações permanentes mostraram-se tecnicamente conformes —, mas nas interfaces entre etapas: esperas entre atendimento e programação, revisões de requisitos, retrabalho documental e baixa visibilidade do andamento dos serviços. A evidência documental corrobora esse padrão. A auditoria interna revelou que registros de comparações intralaboratoriais eram mantidos em formulários não incluídos, referenciados ou vinculados ao sistema de gestão, e que a própria estrutura de gerência não estava claramente identificada no organograma — constatações que não dizem respeito à competência técnica de medir, mas à arquitetura de acoplamentos entre documentos, papéis e fluxos. São desperdícios informacionais típicos de serviços intensivos em informação, cuja origem está nas interdependências, e não nas tarefas isoladas (Saurin et al., 2013; Arfmann & Barbe, 2016). Em termos da tipologia de Thompson (1967), os pontos críticos observados não são de interdependência sequencial — na qual um mapeamento de fluxo bastaria —, mas de interdependência recíproca: atendimento, programação, execução e qualidade ajustam-se mutuamente, sem ordem fixa, de modo que uma decisão de programação depende de informação da qualidade que, por sua vez, depende de registros da execução. É essa reciprocidade que torna o desperdício emergente, e não localizável em uma única estação.

Essa leitura tem consequência direta para a ação de melhoria. Sob a ótica instrumental do Lean, cada uma dessas perdas tenderia a ser tratada isoladamente — um formulário a corrigir, uma espera a reduzir, um retrabalho a eliminar. A leitura de complexidade sugere, ao contrário, que tais perdas são sintomas de um mesmo padrão subjacente: interfaces mal acopladas entre subsistemas que precisam trocar informação confiável em tempo hábil. Corrigir o sintoma sem reorganizar a interface tende a deslocar o desperdício, e não a eliminá-lo. Observou-se, por exemplo, que a ausência de vinculação dos registros intralaboratoriais ao sistema de gestão não gerava erro de medição, mas ampliava o esforço de rastrear, conferir e

reconstituir informação a cada auditoria ou revisão — um custo que se reproduz enquanto o acoplamento entre registro e sistema permanecer frágil.

> ***Proposição 1.*** *Em KIBS regulados, os desperdícios enxutos são efeitos emergentes da interdependência recíproca entre subsistemas, e não desvios localizados em etapas; logo, a melhoria depende da governança das interfaces — os pontos em que informação, decisão e responsabilidade transitam entre áreas —, e não da otimização isolada de atividades.*

4.2 A fragilidade da dependência de pessoas

O caso evidencia que a principal fragilidade organizacional não reside em não conformidades pontuais isoladas, mas em um padrão de dependência do sistema de gestão em relação à memória, à experiência acumulada e à vigilância de indivíduos específicos. A auditoria interna é reveladora nesse ponto: constatou-se, por exemplo, que técnicos adotaram critérios de aceitação distintos dos previstos nos procedimentos (dois incrementos digitais em vez de três na calibração de paquímetro de profundidade; especificação do fabricante em vez do critério do procedimento no nível topográfico) — sem prejuízo ao resultado metrológico, mas revelando que a confiabilidade dependia do julgamento tácito do operador, e não da adesão estável ao procedimento. Somam-se a isso lacunas de treinamento formal e de requisitos de formação para funções técnicas, e a não realização da análise de abrangência de uma causa raiz identificada. Quando a robustez repousa sobre conhecimento tácito, e não sobre procedimentos efetivamente utilizados, registros consistentes e rotinas estáveis, o sistema perde capacidade de padronizar, prevenir desvios e sustentar a melhoria contínua. Em termos de complexidade, trata-se do enfraquecimento dos acoplamentos entre regras, práticas e atores, que amplia a variabilidade e reduz a confiabilidade (Saurin et al., 2013; Uotila & Morrell, 2025). Consequentemente, a gestão da qualidade e a gestão de pessoas deixam de ser instâncias verificadoras e passam a ser funções de sustentação cotidiana do sistema.

É importante distinguir esse diagnóstico de uma crítica à competência dos profissionais. O ponto não é que os técnicos errem — ao contrário, o resultado metrológico manteve-se conforme justamente porque a experiência individual compensava as lacunas do sistema. O risco reside nessa compensação. Em sistemas complexos, essa é uma forma clássica de fragilidade latente por competência: o próprio desempenho técnico conforme mascara a fragilidade estrutural do sistema de gestão, mantendo-a invisível até o momento em que a saída, a sobrecarga ou a substituição do indivíduo remove o conhecimento tácito que a compensava. Distinta do "ponto único de falha", de caráter mecânico, e do "risco de pessoa-chave", de caráter atuarial, essa fragilidade é relacional e cognitiva: nasce da forma como o conhecimento se distribui entre pessoas e estrutura. É uma manifestação, no nível do processo, da tensão entre lógicas profissionais e gerenciais que caracteriza os KIBS (Høiland & Klemsdal, 2022). A resiliência, nesse sentido, não se constrói acumulando controles, mas incorporando o conhecimento crítico às interações — procedimentos vivos, registros integrados e rotinas de formação — de modo que a confiabilidade deixe de depender da presença de indivíduos específicos.

> ***Proposição 2.*** *Em KIBS regulados manifesta-se uma fragilidade latente por competência: o desempenho técnico conforme mascara a dependência do sistema de gestão em relação ao conhecimento tácito de indivíduos, de modo que a confiabilidade aparente coexiste com fragilidade estrutural; a resiliência é função da incorporação do conhecimento nas interações e na estrutura, não em pessoas específicas.*

4.3 Digitalização como mecanismo de coordenação

Os dados mostram o uso de sistemas informatizados de gestão, controle documental eletrônico, programação de serviços, planilhas automatizadas de calibração e emissão digital

de certificados, associados à redução da variabilidade, ao aumento da disponibilidade de informação e ao reforço da rastreabilidade. Analiticamente, esses recursos não operam primordialmente como automação de tarefas, mas como mecanismos de coordenação: ao tornar visíveis cargas, prioridades, pendências e prazos, a programação digital estabiliza o sistema e atua sobre as interfaces onde se formam os desperdícios (Barbosa et al., 2022; Margotti et al., 2019b). Ao mesmo tempo, a digitalização não elimina a complexidade, mas a redistribui, criando novas dependências de integridade de dados, manutenção de sistemas e disciplina de uso.

Essa dupla face da digitalização dialoga diretamente com os achados anteriores. Se o desperdício nasce nas interfaces (Proposição 1) e a fragilidade decorre da dependência de pessoas (Proposição 2), a tecnologia é eficaz na medida em que institucionaliza, no sistema, o que antes dependia da memória e da vigilância individual: um registro vinculado ao sistema de gestão, uma regra de aceitação embutida na planilha de cálculo ou um fluxo de aprovação eletrônico transferem para a estrutura parte do conhecimento crítico. É nesse sentido que a digitalização atua como governança da complexidade, e não como mera automação. Na tipologia de Hanisch et al. (2023), os sistemas observados correspondem a um modo de governança aumentada — e não plenamente automatizada —, no qual a tecnologia reforça a coordenação humana em vez de substituí-la, o que é coerente com a tese de que a digitalização redistribui a complexidade em vez de eliminá-la. Contudo, o caso também adverte que esse ganho não é automático: sistemas mal integrados ou usados sem disciplina podem reproduzir digitalmente as mesmas descontinuidades do processo manual, apenas com nova aparência. A tecnologia, portanto, é condição necessária, mas não suficiente; seu efeito depende de como reorganiza as interdependências, conforme sustentam Barbosa et al. (2022) e a leitura de complexidade adotada.

> ***Proposição 3.*** *Em KIBS regulados, a transformação digital contribui para o desempenho na medida em que opera como governança aumentada das interfaces — coordenando e institucionalizando o que antes dependia de indivíduos —, e não como automação de tarefas; seu efeito é redistribuir a complexidade relacional, deslocando interdependências em vez de suprimi-las.*

4.4 Complexidade como condição de eficácia do Lean

A síntese das evidências permite reposicionar teoricamente o Lean em serviços. O valor analítico do pensamento enxuto, no caso, não está em prescrever a eliminação de etapas, mas em oferecer uma linguagem para examinar como a fluidez se perde nas interfaces do sistema. Quando aplicado sem essa mediação, o Lean tende a atacar sintomas locais e a subestimar as interdependências que reproduzem os desperdícios — o que ajuda a explicar a eficácia limitada de muitas iniciativas enxutas em serviços profissionais. A lente de complexidade, portanto, não substitui o Lean: torna-o explicativo (Arfmann & Barbe, 2016; Tanaro et al., 2020; Uotila & Morrell, 2025).

As quatro proposições articulam-se em um argumento único e cumulativo. A Proposição 1 localiza a origem do desperdício nas interfaces; a Proposição 2 identifica a dependência de pessoas como a fragilidade que mantém essas interfaces instáveis; a Proposição 3 mostra a digitalização como o mecanismo capaz de institucionalizar, na estrutura, o que antes dependia de indivíduos; e a Proposição 4 sintetiza a condição teórica que sustenta as três anteriores: a eficácia do Lean depende de uma leitura de complexidade. O deslocamento proposto é, assim, de uma visão do Lean como caixa de ferramentas para uma visão do Lean como governança de interfaces: uma intervenção deliberada sobre os pontos em que subsistemas reciprocamente interdependentes trocam informação, decisão e responsabilidade. Sob essa ótica, o Lean em ambientes complexos deixa de ser apenas técnica de eliminação de desperdício e passa a operar como mecanismo de desenvolvimento de capacidade adaptativa, aproximando-se da leitura de

práticas enxutas como microfundações de capacidades dinâmicas (Lameijer, Anand, Antony, Gutierrez, & Sunder M., 2022). Esse reposicionamento tem valor tanto teórico — ao conectar três agendas de pesquisa pouco articuladas — quanto prático, ao redirecionar o esforço de melhoria para os pontos do sistema em que a confiabilidade efetivamente se produz ou se perde.

> ***Proposição 4.*** *A eficácia do pensamento enxuto em KIBS regulados é condicionada por uma leitura de complexidade: quanto maior a interdependência recíproca e a densidade normativa do serviço, mais a melhoria enxuta depende da governança das interfaces — e do desenvolvimento das capacidades adaptativas associadas —, em vez da aplicação instrumental de ferramentas.*

5 Considerações finais

Este estudo partiu de uma tensão persistente na literatura de operações e qualidade: a distância entre a ampla adoção do pensamento enxuto em serviços profissionais intensivos em conhecimento e os resultados frequentemente aquém do esperado dessa adoção. A evidência reunida em um laboratório de metrologia indica que essa distância não é, primariamente, uma falha de implementação de ferramentas, mas um problema de ordem teórica: o Lean, quando lido de forma instrumental, intervém sobre atividades e desperdícios visíveis, quando o fator limitante real, nesses ambientes, é a densidade e a natureza das interdependências sociotécnicas entre atividades técnicas, documentais e de gestão — interdependências que a teoria da complexidade permite explicar, e não apenas descrever.

A contribuição teórica central é reposicionar o Lean em serviços como governança de interfaces — uma intervenção deliberada sobre a arquitetura de interdependências recíprocas que constitui o serviço — e fazê-lo dialogando com três conversas teóricas simultaneamente. Para a literatura de Lean Service, o estudo desloca a explicação da eficácia limitada do Lean da adaptação técnica de ferramentas (Arfmann & Barbe, 2016; Torn & Roy, 2021) para a configuração de interdependências do sistema, estendendo a KIBS regulados a lógica de gestão da complexidade já estabelecida para a servitização da manufatura (Ardolino et al., 2021). Para a literatura de serviços intensivos em conhecimento, leva a complexidade institucional dos KIBS (Høiland & Klemsdal, 2022) ao nível do processo operacional e nomeia um mecanismo de risco específico — a fragilidade latente por competência. Para a literatura de governança digital, oferece a primeira evidência de caso, no nível micro-organizacional, de que a digitalização redistribui — em vez de eliminar — complexidade relacional (Hanisch et al., 2023). Esse argumento condensa-se em quatro proposições encadeadas: os desperdícios são efeitos emergentes das interfaces (P1); a fragilidade central é latente por competência (P2); a digitalização é eficaz quando opera como governança aumentada, e não como automação (P3); e a própria eficácia do Lean é condicionada por uma leitura de complexidade (P4). Ao mostrar por que ferramentas enxutas tecnicamente bem aplicadas ainda produzem resultados modestos em serviços de conhecimento, o estudo atende ao critério que distingue a aplicação produtiva de uma teoria: não apenas ajustá-la ao caso, mas fazê-la explicar o que a literatura anterior não explicava.

Esse posicionamento é, deliberadamente, antagônico e pluralista ao mesmo tempo. Antagônico, porque contesta a vertente predominante que trata a transposição de ferramentas da manufatura como questão de adaptação técnica: o estudo sustenta que a eficácia enxuta em serviços de conhecimento é função da configuração de interdependências, e não apenas do grau de padronização das tarefas, explicitando o mecanismo — a interdependência recíproca (Thompson, 1967) — que a advertência, até aqui sobretudo empírica, de Arfmann e Barbe (2016) deixava implícito. Pluralista, porque, em vez de escolher entre teoria da complexidade, Lean Service e governança digital, integra as três em um único mecanismo, prolongando para os KIBS regulados a perspectiva de que sistemas produtivos operam como sistemas complexos

adaptativos (Saurin et al., 2013; Barbosa et al., 2022; Uotila & Morrell, 2025) e conectando a melhoria enxuta ao desenvolvimento de capacidades adaptativas (Lameijer et al., 2022).

Para a prática gerencial, o reposicionamento implica um deslocamento concreto de foco. Iniciativas de melhoria em serviços intensivos em conhecimento deveriam ser precedidas por um mapeamento explícito das interfaces críticas do sistema — os pontos em que informação, decisão e responsabilidade transitam entre áreas, papéis e sistemas — e não apenas por um mapeamento de fluxo de valor convencional (P1). Onde a confiabilidade repousa sobre conhecimento tácito e vigilância individual, o esforço prioritário não é acrescentar controles, mas incorporar esse conhecimento a procedimentos vivos, registros integrados e rotinas de formação, de modo que a robustez deixe de depender de pessoas específicas (P2). E a digitalização deve ser conduzida e avaliada como projeto de coordenação — pela sua capacidade de tornar visíveis e estáveis as interdependências —, e não como mera automação de tarefas, sob risco de reproduzir digitalmente as mesmas descontinuidades do processo manual (P3).

Em um nível mais amplo, os achados interessam a organismos de metrologia, acreditação e políticas de qualidade. Programas de capacitação e diretrizes setoriais que promovem o Lean como pacote técnico universal podem, involuntariamente, reproduzir a limitação aqui identificada; recomenda-se que incorporem uma etapa de diagnóstico das interdependências antes da prescrição de ferramentas. A questão tem, ademais, alcance econômico e social: a infraestrutura da qualidade está associada de forma significativa ao crescimento (Blind et al., 2026), e, numa economia emergente cuja maior força nesse sistema reside justamente na metrologia (Harmes-Liedtke et al., 2025), o que sustenta a confiabilidade cotidiana de um laboratório deixa de ser detalhe operacional para tornar-se condição de competitividade e de confiança técnica entre agentes (UNIDO, 2016).

O estudo apresenta limitações que delimitam — sem comprometer — o alcance da contribuição. O desenho de caso único, embora adequado ao objetivo de gerar teoria de mecanismo e não de estimar frequências, não autoriza generalização estatística: as quatro proposições são generalizações analíticas a serem testadas, e não resultados confirmados. A análise capta, ademais, um estágio específico de maturidade digital do laboratório, e o caráter interpretativo da construção das categorias, embora controlado por triangulação, não é eliminado. Dessas fronteiras deriva, diretamente, uma agenda de pesquisa. Primeiro, estudos multicaso comparando laboratórios em diferentes estágios de maturidade digital podem testar se a digitalização efetivamente estabiliza as interdependências, examinando P3 sob variação controlada. Segundo, pesquisas quantitativas podem operacionalizar densidade normativa e interdependência como moderadoras da relação entre adoção de práticas enxutas e desempenho, submetendo P4 a teste formal em amostras maiores. Terceiro, estudos comparativos com outros serviços profissionais de alta especialização — laboratórios clínicos, serviços jurídicos complexos, atividades de auditoria — podem avaliar se o mecanismo da interdependência se generaliza para além da metrologia ou é específico a contextos de alta rastreabilidade e conformidade (Verhoef et al., 2021; Uotila & Morrell, 2025). Quarto, a própria categoria de KIBS de alta rastreabilidade merece teste comparativo: contrastar serviços em que o registro documental é constitutivo (metrologia, laboratórios clínicos, auditoria) com KIBS de baixa rastreabilidade documental (por exemplo, consultoria estratégica) permitiria verificar se a fragilidade latente por competência é mais ou menos pronunciada conforme a densidade normativa e a natureza do registro, refinando as fronteiras do mecanismo aqui proposto.

Se o pensamento enxuto nasceu como resposta à complexidade desnecessária da manufatura, sua promessa em serviços profissionais regulados só se cumprirá quando ele deixar de ser importado como caixa de ferramentas e passar a ser compreendido como governança de interfaces — a intervenção sobre os pontos em que a complexidade recíproca decide onde o sistema agrega valor e onde apenas gera desperdício e fragilidade. À medida que a digitalização

reconfigura essas interfaces nos KIBS de alta rastreabilidade, essa distinção deixa de ser uma sutileza teórica e torna-se condição prática para sustentar a confiabilidade de um dos nós mais estratégicos da infraestrutura da qualidade.

Referências

Ardolino, M., Saccani, N., & Eloranta, V. (2021). A complexity management approach to servitization: The role of digital platforms. International Journal of Operations & Production Management, 41(5), 622–644. https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0582

Arfmann, D., & Barbe, G. T. (2016). The value of lean in the service sector: A critique of theory and practice. International Journal of Business and Social Science, 7(2), 18–24.

Barbosa, C. R. H., Sousa, M. C., Almeida, M. F. L., & Calili, R. F. (2022). Smart manufacturing and digitalization of metrology: A systematic literature review and a research agenda. Sensors, 22(16), 6114. https://doi.org/10.3390/s22166114

Bardin, L. (2011). Análise de conteúdo. Edições 70.

Blind, K., Neuhäusler, P., & Schubert, T. (2026). The economic effects of the quality infrastructure. Technology in Society, 84, 103114. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.103114

Dias, A. M., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (2022). Quality 4.0: Literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. International Journal of Quality & Reliability Management, 39(6), 1312–1335. https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0247

Dias, A., Dias, A. R., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (2024). The Quality 4.0 roadmap: Designing a capability roadmap toward quality management in Industry 4.0. Quality Engineering, 36(4), 745–764. https://doi.org/10.1080/10686967.2024.2317478

Dias, J. L. M. (2007). Medida, normalização e qualidade: Aspectos da história da metrologia no Brasil. Ilustração.

Fadilasari, D. P., Garza-Reyes, J. A., Kandasamy, J., Ghatak, R. R., & Joshi, R. (2024). Adopting quality management practices in the Industry 4.0 era: An investigation into the challenges. Total Quality Management & Business Excellence, 35(11–12), 1289–1316. https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2354840

Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2013). Embracing digital technology: A new strategic imperative. MIT Sloan Management Review, 55(2), 1–12.

GIZ/GPQI — Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit / Global Project Quality Infrastructure. (2022). Overview of Brazil's quality infrastructure system. GIZ.

Hanisch, M., Goldsby, C. M., Fabian, N. E., & Oehmichen, J. (2023). Digital governance: A conceptual framework and research agenda. Journal of Business Research, 162, 113777. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113777

Harmes-Liedtke, U., et al. (2025). Global Quality Infrastructure Index (GQII) 2025. Mesopartner / GQII Program. https://gqii.org

Høiland, G. C. L., & Klemsdal, L. (2022). Organizing professional work and services through institutional complexity: How institutional logics and differences in organizational roles matter. Human Relations, 75(2), 240–272. https://doi.org/10.1177/0018726720970274

Lameijer, B. A., Anand, G., Antony, J., Gutierrez, L., & Sunder M., V. (2022). Beyond efficiency: The role of lean practices and cultures in developing dynamic capabilities microfoundations. International Journal of Operations & Production Management, 42(13), 506–536. https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2022-0086

Margotti, E., Guarnieri, C. A. P., & Oliveira, T. J. de. (2019a). Evolução da gestão da qualidade laboratorial: uma avaliação em um laboratório de serviço metrológico. In Anais do Congresso Brasileiro de Metrologia. Sociedade Brasileira de Metrologia.

Margotti, E., Oliveira, A. L. M. de, & Donatelli, G. D. (2019b). Aplicação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em laboratórios metrológicos. In Anais do Congresso Brasileiro de Metrologia. Sociedade Brasileira de Metrologia.

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. Business & Information Systems Engineering, 57(5), 339–343. https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5

Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.). Jossey-Bass.

Morin, E. (2006). Introdução ao pensamento complexo (3rd ed.). Sulina.

Sader, S., Husti, I., & Daróczi, M. (2022). A review of Quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. Total Quality Management & Business Excellence, 33(9–10), 1164–1182. https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082

Saurin, T. A., Rooke, J., & Koskela, L. (2013). A complex systems theory perspective of lean production. International Journal of Production Research, 51(19), 5824–5838. https://doi.org/10.1080/00207543.2013.796420

Song, Q., Yu, D., & Peng, X. (2024). Knowledge-intensive business services and new venture growth: A sub-national analysis based on complexity theory. Economic Modelling, 141, 106884. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106884

Tanaro, L. F., Pacheco, H. V., Santos, A. C. S. G., Ferreira, L. A. F., & Santos, G. N. (2020). Lean and metrology: A systematic review and bibliometric analysis of the scientific literature from the last 20 years. Independent Journal of Management & Production, 11(5), 1543–1566. https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i5.1280

Thompson, J. D. (1967). Organizations in action: Social science bases of administrative theory. McGraw-Hill.

Torn, R. J., & Roy, R. (2021). Exploring lean thinking in service industries: A systematic literature review and research agenda. International Journal of Lean Six Sigma. https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2020-0132

United Nations Industrial Development Organization. (2016). The role of quality infrastructure in sustainable industrial development. UNIDO.

Uotila, J., & Morrell, K. (2025). Complexity as a domain between order and chaos: Implications for organizational scholarship. Strategic Organization. https://doi.org/10.1177/14761270251355030

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. Journal of Business Research, 122, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Simon & Schuster.

Yin, R. K. (2018). Case study research