CHECK-UP OPERACIONAL COMO FERRAMENTA DIGITAL DE GESTÃO PREDITIVA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA

SELMA MARIA SILVA SOUZA[(1)]
Bacharel em Ciências Contábeis (UNICAP), com MBA em Finanças e Controladoria (UNICAPE) e pós-graduação em Gestão Pública. Empregada pública concursada da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), onde atua há 20 anos no cargo de Analista de Gestão. Possui experiência como gestora nas áreas contábil, de investimentos e faturamento, com atuação em projetos de modernização de processos, governança e transformação digital no setor de saneamento.
RODOLFO AMORIM CORREIA DA SILVA[(2)]
Engenheiro Eletrônico (UFPE) com MBA em Gerenciamento de Projetos (FGV) e Especialização em IA, Ciência de Dados e Analytics (UPE), sendo atualmente mestrando em Inteligência Computacional também pela UPE. Com 13 anos de atuação na COMPESA como Analista de Saneamento, atua como gestor na Gerência de Planejamento e Gestão Corporativa.
IGOR BARRETO BANDEIRA[(3)]
Engenheiro de Produção (UFPE) com 11 anos de atuação na COMPESA como Analista de Saneamento, atuando na interseção entre Gestão Estratégica, Infraestrutura e Inovação, liderando projetos que transformam dados complexos em decisões de alto valor para o negócio.
MARCOS ANTONIO TENÓRIO[(4)]
Especialista em Geoprocessamento pela PUC Minas. Atua na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) há mais de 11 anos, desenvolvendo projetos de inovação tecnológica geoespacial e transformação digital aplicados ao saneamento. Possui experiência em geotecnologias, WebGIS, tecnologias Esri, integração de dados geoespaciais, automação de processos, análises espaciais, sistemas de apoio à decisão, governança de dados e gestão de ativos.

Endereço[(1)]**:** Rua Ágata, 136 - Bairro: Nossa Senhora da Conceição - Cidade: Paulista - Pernambuco - CEP: 53429-620 - Brasil - Tel.: (81) 99488-5286 - e-mail: selma0311@gmail.com

RESUMO

A modernização das rotinas operacionais nas empresas de saneamento exige soluções capazes de transformar dados dispersos em informações estratégicas, deslocando a gestão do paradigma reativo para o preditivo. Este trabalho apresenta o Check-up Operacional, ferramenta digital concebida para padronizar a inspeção das unidades de produção de água (Estações de Tratamento, Elevatórias, Reservatórios e Poços), antecipar não conformidades estruturais, eletromecânicas, hidráulicas, ambientais e de segurança, e subsidiar a tomada de decisão em três níveis gerenciais. A solução é um aplicativo móvel corporativo, embarcado em dispositivos com certificações IP68/IP69K e MIL-STD-810, com autenticação biométrica do operador no login (matrícula, captura facial em tempo real e cruzamento com a base corporativa) e conectividade requerida via operadora ou Wi-Fi corporativo. A metodologia abrange mapeamento de processos, checklists digitais estruturados, registro fotográfico georreferenciado das não conformidades e análise técnica pelos coordenadores e gerentes regionais. Os resultados preliminares evidenciaram padronização das inspeções, ganho de rastreabilidade, tempestividade na identificação de falhas e fortalecimento da cultura preventiva, com casos concretos de intervenções estruturais demandadas a partir das inspeções digitais. Conclui-se que o Check-up Operacional constitui instrumento de gestão estratégica, com potencial de replicabilidade no setor de saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão preditiva, Saneamento, Inspeção digital.

INTRODUÇÃO

O setor de saneamento brasileiro vivencia um período de profunda transformação, marcado por exigências regulatórias crescentes, pela universalização do acesso prevista no Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) e pela necessidade de elevação da eficiência operacional dos prestadores de serviços. Nesse contexto, a gestão dos ativos produtivos — Estações de Tratamento de Água (ETAs), Elevatórias, Reservatórios e Poços — passa a exigir não apenas a manutenção corretiva tradicional, mas uma abordagem orientada a dados, capaz de antecipar falhas e priorizar investimentos com base em evidências.

A inspeção das unidades operacionais, historicamente realizada de forma descentralizada, com registros manuais em papel e padrões heterogêneos entre regionais, apresenta limitações estruturais: baixa rastreabilidade, lentidão no fluxo de informações, inconsistências entre equipes e dificuldade de consolidação gerencial. Esse modelo dificulta a transição do paradigma reativo — baseado em ocorrências e emergências — para o paradigma preditivo, em que decisões são tomadas com base em evidências sistematicamente coletadas (Kardec e Nascif, 2019).

O presente trabalho apresenta o Check-up Operacional, ferramenta digital desenvolvida no âmbito de uma diretoria de produção de uma companhia estadual de saneamento, com o propósito de promover essa transição. A solução padroniza a coleta de informações de campo, materializa o ciclo de gestão preditiva e integra-se às áreas estratégicas da Companhia — Compras, Orçamento e Regulação — fornecendo subsídios técnicos para decisões de manutenção, investimento e atendimento a exigências da agência reguladora.

OBJETIVOS

Objetivo geral. Desenvolver e implementar uma ferramenta digital de gestão preditiva para o acompanhamento sistemático das condições operacionais das unidades de produção de água, promovendo a padronização dos processos de inspeção, a rastreabilidade das informações de campo e o suporte à tomada de decisão gerencial.

Objetivos específicos. (i) mapear e padronizar os processos de inspeção operacional aplicáveis aos diferentes tipos de unidades de produção; (ii) construir checklists digitais estruturados em dimensões técnicas (civil, eletromecânica, hidráulica, ambiental e de segurança); (iii) implementar arquitetura tecnológica móvel, com autenticação biométrica do operador e sincronização em nuvem; (iv) estabelecer fluxo de análise técnica das evidências por coordenadores e gerentes regionais para priorização das intervenções; (v) integrar a ferramenta às áreas estratégicas (Compras, Orçamento, Regulação) e aos três níveis gerenciais (Diretoria, Gerências e Coordenações); e (vi) validar a aplicabilidade da ferramenta em piloto controlado, com avaliação de usabilidade e aceitação pelas equipes operacionais.

METODOLOGIA UTILIZADA

O desenvolvimento do Check-up Operacional seguiu abordagem incremental, estruturada em cinco fases sequenciais e iterativas, descritas a seguir.

Fase 1 — Diagnóstico e mapeamento dos processos. Realizou-se levantamento das rotinas de inspeção praticadas pelas equipes operacionais, com aplicação de entrevistas semiestruturadas a operadores, encarregados, coordenadores e gerentes. Foram identificados os principais pontos críticos das unidades de produção, as ocorrências operacionais mais recorrentes e as lacunas dos instrumentos de registro vigentes.

Fase 2 — Modelagem dos checklists digitais. A partir do diagnóstico, foram construídos checklists específicos por tipo de unidade (ETA, Elevatória, Reservatório, Poço), organizados em cinco dimensões avaliativas: (i) condições civis e estruturais; (ii) condições eletromecânicas; (iii) condições hidráulicas e de processo; (iv) condições ambientais e de entorno; e (v) condições de segurança e saúde ocupacional. Cada item foi parametrizado com critérios objetivos de avaliação, evidência fotográfica obrigatória nos itens críticos e campo livre para observações qualitativas.

Modelagem de Dados e Formulários Inteligentes (Smart Forms)

Para evitar a simples digitalização de formulários estáticos em papel, a arquitetura de dados no **ArcGIS Survey123** (via padronização XLSForm) foi construída baseada em lógicas condicionais e perfis de usuário. O sistema identifica a credencial do colaborador e renderiza perguntas específicas para o perfil "Operador" (OP) ou "Técnico" (TEC), garantindo, por exemplo, que verificações normativas complexas (como NR-12) sejam respondidas exclusivamente por profissionais habilitados.

A interface do aplicativo utiliza árvores de decisão dinâmicas; variáveis secundárias (como a integridade de uma bomba reserva ou caixas de passagem) só são exibidas se o equipamento primário for confirmado na unidade, otimizando o tempo de inspeção. Adicionalmente, implementou-se rigorosa governança de dados na origem:

termos técnicos foram padronizados de forma global (ex: padronização da sigla CMB para Conjunto Moto Bomba) e perguntas subjetivas foram eliminadas.

As não conformidades identificadas nas esferas Civil, Eletromecânica, Automação, Segurança e Ambiental acionam gatilhos no sistema, tornando obrigatório o registro fotográfico e a captura de coordenadas geográficas. Isso é especialmente crítico em ativos lineares, como adutoras, onde a espacialização exata de um vazamento ou ligação clandestina é vital para o roteamento ágil das equipes de manutenção corretiva.

Fase 3 — Arquitetura tecnológica. A solução foi materializada em aplicativo móvel com as seguintes características:

Arquitetura de Sistemas, Geoprocessamento e Integração de Dados

Para materializar o ciclo preditivo e garantir a robustez tecnológica do Check-up Operacional, a solução foi estruturada sobre uma arquitetura geoespacial corporativa baseada no ecossistema Esri, dividida em três camadas principais: coleta móvel, infraestrutura de servidores e inteligência geográfica.

1. Coleta de Dados em Campo (Front-end Móvel) A interface de inspeção foi desenvolvida utilizando o **ArcGIS Survey123**. A escolha dessa ferramenta permitiu a construção de formulários inteligentes (smart forms) com lógicas condicionais dinâmicas e regras de validação nativas. O aplicativo possibilita a inserção das coordenadas geográficas no momento da inspeção, a obrigatoriedade de anexos fotográficos e o funcionamento contínuo mesmo em áreas de sombra de conectividade (modo offline), sincronizando os pacotes de dados assim que a rede é restabelecida no dispositivo corporativo. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a tela de login do sistema e a interface de localização e perguntas do checklist digital.

Figura 1 – Login do sistema



Figura 2 – Localização e perguntas do checklist digital

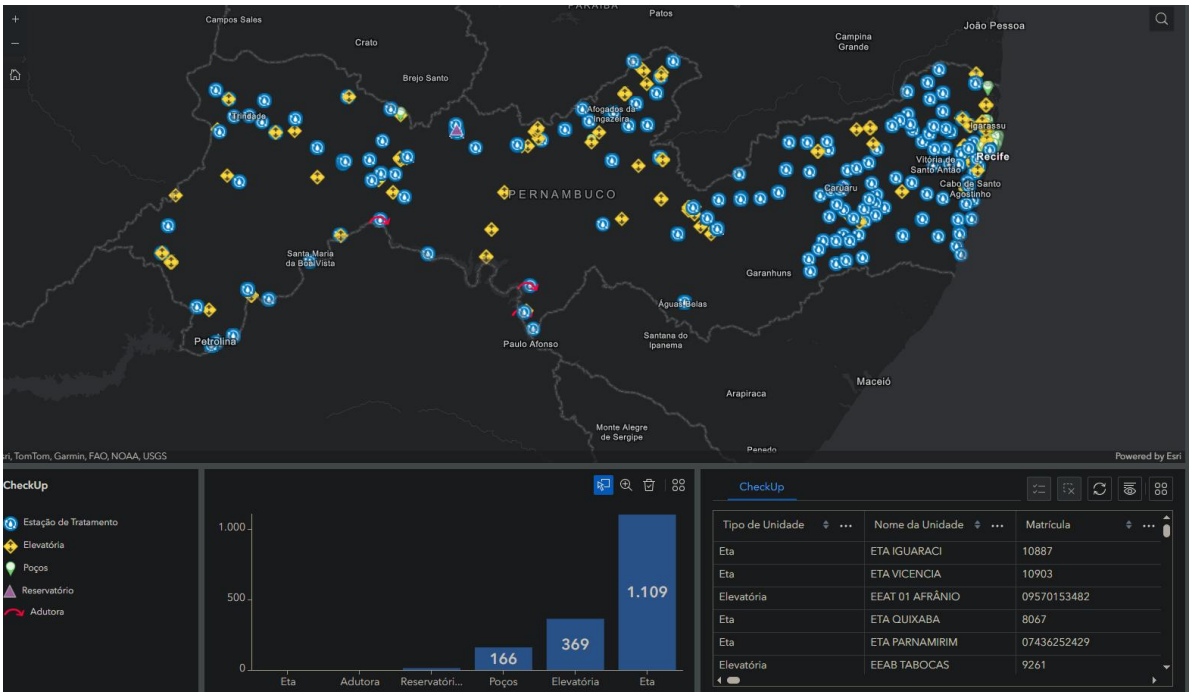


Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2. Infraestrutura de Servidores e Banco de Dados (Back-end) O coração do tráfego e armazenamento das informações fundamenta-se na suíte ArcGIS Enterprise. Os dados coletados em campo são recebidos, validados e processados através do **ArcGIS Server** e orquestrados pelo **ArcGIS Portal**. Para assegurar a escalabilidade, a integridade transacional e o alto desempenho das consultas, adotou-se o **Enterprise Geodatabase** em conjunto com o **ArcGIS Data Store**. Essa arquitetura de dados não opera de forma isolada; ela atua como um hub central, permitindo a interoperabilidade e a integração nativa com os demais bancos de dados legados e sistemas corporativos da companhia. **Destacam-se a integração com o Sistema de Informações Corporativas (SIC), para consumo e validação em tempo real da base de dados de funcionários, e com o Sistema Alpha, que fornece o cadastro oficial e o inventário patrimonial das unidades operacionais**, quebrando silos de informação.

3. Painéis Gerenciais e Inteligência Geográfica (Dashboards) Para traduzir o grande volume de dados capturados em informações acionáveis para os três níveis gerenciais, foram desenvolvidos painéis dinâmicos utilizando o **ArcGIS Experience Builder**. Esses painéis consolidam os apontamentos estruturais, eletromecânicos e operacionais de forma espacial. A interface integra, em tempo real, a distribuição cartográfica das unidades (ETAs, Elevatórias, Reservatórios, Poços e Adutoras), gráficos consolidados de não conformidades, matrizes tabulares de detalhamento por matrícula de operador e um registro fotográfico sequencial das anomalias reportadas. Essa camada analítica transforma os achados pontuais de campo em um mapa de calor estratégico, direcionando o fluxo de manutenção e as decisões de Capex e Opex da Diretoria. A Figura 3 apresenta a interface dos dashboards gerenciais em evolução, com a distribuição espacial das unidades e os indicadores consolidados de não conformidades.

Figura 3 – Gestão por dashboards (em evolução)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4. Governança de Dados na Origem e Rastreabilidade Móvel O rigor na qualidade dos dados foi estabelecido na camada de front-end do ArcGIS Survey123 através da programação estruturada do padrão XLSForm. Mecanismos antifraude foram implementados forçando a captura de imagens estritamente via câmera do dispositivo (bloqueando uploads de galerias locais) e aplicando marcas d'água irrefutáveis com data e hora da

vistoria. A validação do operador ocorre em tempo real, cruzando a matrícula informada com as bases corporativas antes de autorizar o preenchimento. Para minimizar erros topológicos e de digitação em campo, a interface utiliza filtros relacionais em cascata, onde a escolha da tipologia do ativo restringe dinamicamente as opções geográficas subsequentes. Por fim, a sincronização de cada vistoria para o banco de dados geoespacial gera uma chave primária automatizada — concatenando matrícula, ativo e carimbo de tempo — o que assegura a integridade transacional e a alta performance de indexação no consumo dos dados pelos dashboards gerenciais.

Para garantir essa performance em campo, a solução exige as seguintes especificações e rotinas:

- Autenticação biométrica do operador: o acesso ao aplicativo é condicionado a um processo de identificação que combina três fatores: (i) matrícula funcional do colaborador; (ii) captura de fotografia do operador em tempo real, no momento do login; e (iii) cruzamento automatizado da imagem capturada com a fotografia oficial registrada na base corporativa de recursos humanos. Esse mecanismo garante que apenas o colaborador titular da matrícula execute a inspeção, conferindo integridade e auditabilidade ao registro.
- Conectividade requerida no login: em razão do processo de autenticação descrito, o aplicativo exige conexão de dados no momento da entrada no sistema. Para superar a heterogeneidade de cobertura nas regiões atendidas, foram previstas duas vias de conectividade nas unidades operacionais: rede de operadora celular ou rede Wi-Fi corporativa, esta última disponibilizada pela Companhia em unidades situadas em regiões sem cobertura celular.
- Captura de evidências: registro de fotografias georreferenciadas vinculadas a cada item do checklist, com carimbo de data, hora e localização.
- Camada de segurança: uso restrito a dispositivos corporativos cadastrados, com autenticação por credencial institucional e biometria facial, em conformidade com as políticas internas de segurança da informação.
- Especificações de hardware dos dispositivos corporativos: processadores octa-core de 64 bits (arquitetura ARM Cortex-A78 ou superior, litografia de 6 nm ou inferior), 4 GB de RAM, 128 GB de armazenamento, conectividade 5G e Wi-Fi Dual Band, bateria mínima de 5.000 mAh e certificações IP68/IP69K (resistência a poeira, submersão e jatos de água de alta pressão) e MIL-STD-810 (resistência a quedas, vibrações e variações térmicas).
- Sincronização e consolidação: envio das inspeções para servidor central, com geração automática de relatórios gerenciais e painéis (dashboards) segmentados por nível decisório.

Fase 4 — Análise e tratamento das não conformidades. As não conformidades identificadas em campo são registradas com evidência fotográfica obrigatória e descrição padronizada conforme o item do checklist. A análise técnica e a priorização das intervenções são realizadas pelos coordenadores e gerentes regionais, mediante avaliação das evidências enviadas pelos operadores — fotografias, observações de campo e contexto da unidade. Esse modelo de análise centrada no gestor regional, sustentado pela qualidade das evidências digitais, permite decisões fundamentadas sobre a urgência da intervenção, a alocação de recursos humanos e materiais e o eventual escalonamento da demanda para níveis gerenciais superiores.

Fase 5 — Piloto controlado. A ferramenta foi submetida a piloto em unidades operacionais selecionadas, abrangendo os quatro tipos de ativos (ETAs, Elevatórias, Reservatórios e Poços). Aplicou-se questionário de usabilidade às equipes participantes, abordando acesso ao sistema, conclusão das tarefas, performance e estabilidade, clareza do fluxo, facilidade de uso e percepção geral de prontidão da solução. As ocorrências reportadas em campo foram acompanhadas até sua resolução, gerando casos concretos de intervenção que evidenciam o ciclo preditivo em funcionamento.

RESULTADOS OBTIDOS

Padronização e rastreabilidade. A digitalização das inspeções produziu padronização imediata dos registros: eliminou-se a heterogeneidade dos checklists em papel, atribuiu-se identidade única a cada inspeção (com data, hora, geolocalização e responsável autenticado por biometria) e estabeleceu-se trilha de auditoria completa. A rastreabilidade passou a ser nativa da ferramenta.

Tempestividade na identificação de falhas. A sincronização automática das inspeções com o servidor central reduziu o ciclo entre a observação em campo e a ciência gerencial. Demandas que antes percorriam fluxos de comunicação informais e descontínuos passam a estar disponíveis em painel gerencial assim que a inspeção é concluída e sincronizada.

Apoio à decisão em múltiplos níveis. A ferramenta sustenta três camadas decisórias com a mesma base informacional: a Diretoria de Produção dispõe de visão estratégica consolidada, com priorização de investimentos e identificação de riscos sistêmicos; as Gerências Regionais planejam ações com base em dados reais das unidades sob sua jurisdição; e as Coordenações Operacionais recebem direcionamento claro das ações de campo no dia a dia. A unicidade da base elimina divergências de informação entre níveis e aumenta a assertividade das decisões.

Capilaridade com áreas estratégicas. O Check-up Operacional foi concebido para extrapolar o escopo da operação, integrando-se a áreas estratégicas da Companhia: as necessidades materiais identificadas em campo subsidiam processos de aquisição programados, reduzindo a frequência de compras emergenciais; as demandas consolidadas alimentam o planejamento orçamentário, ancorando o CAPEX e o OPEX em evidências operacionais; e os registros digitais constituem evidência objetiva para o atendimento às exigências regulatórias, com rastreabilidade auditável.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstram que a digitalização do processo de inspeção opera em duas frentes complementares: a primeira, de natureza operacional, eleva o padrão técnico da coleta de informações; e a segunda, de natureza gerencial, fortalece a base evidencial para a tomada de decisão estratégica. A combinação dessas frentes materializa o ciclo de gestão preditiva descrito por Kardec e Nascif (2019), em contraposição ao modelo predominantemente reativo historicamente praticado.

Cabe destacar a função dupla cumprida pela ferramenta. Além de instrumento de coleta e análise das condições dos ativos, o Check-up Operacional revelou-se também ferramenta de diagnóstico da própria infraestrutura organizacional, ao explicitar gargalos como a ausência de dispositivos móveis corporativos em parte das unidades e a restrição de cobertura de telecomunicações em determinadas regiões. Tais constatações alimentam diretamente o planejamento corporativo de infraestrutura habilitadora.

Caso ilustrativo. Em uma unidade operacional do interior, a inspeção digital identificou demandas estruturais que culminaram, em curto intervalo, na instalação de refletores externos, melhorias na iluminação interna, desobstrução de caixas e recuperação de trecho de muro com risco de desmoronamento nas proximidades da unidade. A demanda foi identificada por meio do aplicativo, fortalecendo o acompanhamento das necessidades das unidades e a atuação preventiva das equipes — exemplo concreto do ciclo preditivo em funcionamento, em que a evidência digital antecede e fundamenta a intervenção física.

Limitações identificadas. A implantação evidenciou três limitações principais: (i) parte das unidades ainda não dispõe de dispositivos corporativos, requisito ao uso do aplicativo; (ii) a exigência de conectividade no login implica provisão de Wi-Fi corporativo em unidades sem cobertura celular; e (iii) a transição do registro em papel para o digital demanda ações continuadas de capacitação e gestão da mudança. Essas limitações não comprometem a viabilidade da solução; antes, demarcam o conjunto de pré-condições que ampliam seu impacto.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Check-up Operacional consolida-se como ferramenta de gestão estratégica, e não apenas de inspeção. Ao padronizar a coleta, sustentar a rastreabilidade por meio da autenticação biométrica do operador, integrar áreas estratégicas e estruturar o fluxo de análise técnica das evidências, promove a transição efetiva do modelo reativo para o modelo preditivo na gestão de unidades de produção de água.

Recomenda-se:

- Ampliação progressiva da cobertura para o universo das unidades operacionais da concessão;
- Provisão da infraestrutura habilitadora — dispositivos corporativos robustos, garantia de conectividade nas unidades (rede celular ou Wi-Fi corporativo) e capacitação continuada das equipes;

- Integração futura com sistemas corporativos de gestão de ativos (EAM/CMMS), ERP e plataformas de Business Intelligence;
- Incorporação de metodologia formal de priorização de risco, com destaque para a Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) proposta por Kepner e Tregoe (1981), a ser embarcada como camada analítica nativa do sistema e dos painéis gerenciais, automatizando a priorização hoje conduzida pelos gestores de forma qualitativa;
- Evolução da camada analítica com algoritmos de aprendizado de máquina, visando a predição de falhas a partir do histórico consolidado de inspeções e fotografias;
- Disseminação da metodologia para outras diretorias e, em horizonte mais amplo, para outras concessionárias do setor de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 55000:2014* — Gestão de ativos: visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

2. BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.* Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília: Presidência da República, 2020.

3. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento — SNIS:* Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: SNIS, 2023.

4. CAMPOS, V. F. *Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia.* 9. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

5. KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica.* 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

6. KEPNER, C. H.; TREGOE, B. B. *The New Rational Manager.* Princeton: Princeton Research Press, 1981.

7. SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção.* 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

8. TAKASHINA, N. T.; FLORES, M. C. X. *Indicadores da qualidade e do desempenho:* como estabelecer metas e medir resultados. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.