

APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO CONTROLE DA QUALIDADE DE EMPRESAS METALÚRGICAS E DE CALDEIRARIA: UM MODELO CONCEITUAL

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN QUALITY CONTROL FOR
METALLURGICAL AND BOILER-MAKING COMPANIES: A CONCEPTUAL
MODEL**

Engenharias • 20/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/787202029](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/787202029)

Adroaldo Nunes Ismerim Junior¹

RESUMO

A crescente complexidade dos processos industriais e o aumento das exigências normativas tornam o Controle da Qualidade um elemento essencial para garantir conformidade, rastreabilidade e confiabilidade nos setores metalúrgico e de caldeiraria. Nesse contexto, a gestão de grande volume de informações técnicas provenientes de normas, desenhos, procedimentos, qualificações, certificados e registros de inspeção representa um importante desafio. Este trabalho propõe um modelo conceitual para aplicação da Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de apoio ao Controle da Qualidade, desde a interpretação da documentação técnica até a consolidação da documentação final dos projetos. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e da elaboração de um modelo conceitual fundamentado em Sistemas de Gestão da Qualidade, inspeção industrial, Ensaios Não Destrutivos (END) e transformação digital. O modelo prevê o uso da IA para integrar informações, interpretar requisitos técnicos, validar documentos, apoiar o planejamento e a execução das inspeções e consolidar automaticamente a documentação para composição do Data Book. Como contribuições potenciais, destacam-se a padronização dos processos, a preservação do conhecimento técnico, a redução de atividades repetitivas, o fortalecimento da rastreabilidade e o aumento da eficiência operacional, mantendo as decisões técnicas sob responsabilidade de profissionais qualificados.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Controle da Qualidade; Caldeiraria; Indústria Metalúrgica; Indústria 4.0.

ABSTRACT

The increasing complexity of industrial processes and rising regulatory demands make Quality Control an essential element for

ensuring compliance, traceability, and reliability in the metallurgical and boiler-making sectors. In this context, managing the vast volume of technical information—derived from standards, drawings, procedures, qualifications, certificates, and inspection records—poses a significant challenge. This study proposes a conceptual model for applying Artificial Intelligence (AI) as a support tool for Quality Control, covering everything from the interpretation of technical documentation to the consolidation of final project documentation. The research is applied in nature and qualitative in approach, developed through a literature review and the creation of a conceptual model grounded in Quality Management Systems, industrial inspection, Non-Destructive Testing (NDT), and digital transformation. The model envisions using AI to integrate information, interpret technical requirements, validate documents, support inspection planning and execution, and automatically consolidate documentation to compile the Data Book. Key potential contributions include process standardization, the preservation of technical knowledge, the reduction of repetitive tasks, enhanced traceability, and increased operational efficiency, all while keeping technical decision-making the responsibility of qualified professionals.

Keywords: Artificial Intelligence; Quality Control; Boiler-making; Metalworking Industry; Industry 4.0.

1. INTRODUÇÃO

A crescente competitividade da indústria metalúrgica e de caldeiraria, associada ao aumento da complexidade dos projetos, da diversidade de requisitos normativos e das exigências dos clientes, tem ampliado a necessidade de processos de Controle da Qualidade cada vez mais eficientes, padronizados e rastreáveis. Nesse contexto,

as organizações precisam gerenciar um grande volume de informações provenientes de desenhos técnicos, normas nacionais e internacionais, procedimentos internos, especificações contratuais, qualificações de processos e profissionais, registros de inspeção e documentação técnica dos projetos.

Embora grande parte dessas informações já esteja disponível em formato digital, sua interpretação e consolidação ainda dependem, em muitos casos, da experiência dos profissionais envolvidos. A consulta simultânea a diferentes documentos, a verificação manual da consistência das informações e a preparação da documentação da qualidade representam atividades que demandam tempo, estão sujeitas a falhas e podem resultar em retrabalho, atrasos e aumento dos custos do processo produtivo.

Paralelamente, a evolução das tecnologias associadas à Indústria 4.0 e à Transformação Digital tem possibilitado a incorporação de soluções baseadas em Inteligência Artificial (IA) aos processos industriais. Essas tecnologias apresentam potencial para interpretar grandes volumes de dados, correlacionar informações provenientes de diferentes fontes, automatizar tarefas repetitivas e fornecer apoio técnico à tomada de decisão, sem substituir a responsabilidade dos profissionais habilitados.

No contexto do Controle da Qualidade, a aplicação da Inteligência Artificial pode representar uma evolução significativa ao permitir a construção de uma base integrada de conhecimento capaz de reunir normas técnicas, procedimentos internos, requisitos contratuais, documentos de projeto e registros de fabricação. A partir dessa base, a IA pode auxiliar na interpretação automática dos requisitos técnicos, na validação preventiva da documentação, no

planejamento das inspeções, na preparação dos registros da qualidade, no apoio à execução das inspeções e na consolidação da documentação final do projeto.

Este trabalho propõe um modelo conceitual para aplicação da Inteligência Artificial como ferramenta de apoio ao processo de Controle da Qualidade em empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria. O modelo considera a integração entre informações técnicas, requisitos normativos, documentos do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e registros gerados durante a fabricação, estabelecendo um fluxo estruturado de utilização da IA desde o recebimento da documentação do projeto até a consolidação do Data Book.

Ressalta-se que a proposta não tem como finalidade substituir o julgamento técnico, a responsabilidade profissional ou as atividades executadas pelos inspetores e demais especialistas envolvidos no processo. A Inteligência Artificial é apresentada como um recurso de apoio capaz de ampliar a capacidade de análise, reduzir atividades administrativas, aumentar a padronização dos processos, fortalecer a rastreabilidade das informações e contribuir para a melhoria da eficiência operacional.

Por fim, espera-se que o modelo conceitual apresentado possa servir como referência para futuras implementações em organizações do setor, bem como subsidiar estudos voltados à aplicação prática da Inteligência Artificial em processos de gestão e controle da qualidade industrial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Propor um modelo conceitual para aplicação da Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de apoio ao processo de Controle da Qualidade em empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria, integrando informações técnicas, requisitos normativos, documentos do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e registros gerados durante o ciclo de fabricação, com o propósito de apoiar o planejamento das inspeções, a interpretação dos requisitos técnicos, a preparação da documentação, a validação dos resultados e a consolidação dos registros da qualidade.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar as principais fontes de informação utilizadas no processo de Controle da Qualidade;
2. Estruturar uma base de conhecimento capaz de integrar normas técnicas, procedimentos internos, documentos do Sistema de Gestão da Qualidade e informações específicas dos projetos;
3. Estabelecer um fluxo conceitual para interpretação automática dos requisitos técnicos pela Inteligência Artificial;
4. Propor mecanismos de validação preventiva da documentação técnica antes do início da fabricação;
5. Definir um modelo para preparação automática dos registros da qualidade a partir das informações disponíveis no projeto;
6. Propor um processo automatizado para validação dos resultados das inspeções e identificação de inconsistências documentais;

7. Estruturar um modelo para consolidação automática da documentação final do projeto, incluindo a organização do Data Book;
8. Apresentar possibilidades de integração entre a Inteligência Artificial e sistemas corporativos utilizados pelas organizações;
9. Analisar os benefícios potenciais, as limitações e as possibilidades de aplicação do modelo proposto no contexto da indústria metalúrgica e de caldeiraria.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Controle da Qualidade na Indústria Metalúrgica e de Caldeiraria

O Controle da Qualidade desempenha papel fundamental na garantia da conformidade dos produtos fabricados, assegurando que os requisitos técnicos, normativos e contratuais sejam atendidos durante todas as etapas do processo produtivo (Deming, 1986; Juran & Godfrey, 1999).

Nas empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria, as atividades de Controle da Qualidade abrangem a inspeção de matérias-primas, componentes, processos de fabricação, soldagem, usinagem, montagem, tratamentos superficiais, ensaios não destrutivos, inspeções dimensionais e testes funcionais, além da consolidação da documentação técnica exigida pelos clientes (Feigenbaum, 1991).

A crescente complexidade dos projetos industriais faz com que essas atividades dependam da interpretação simultânea de um grande volume de informações provenientes de desenhos técnicos,

especificações, normas nacionais e internacionais, procedimentos internos, qualificações de processos, certificados de materiais e registros de fabricação (Oakland, 2014).

Como consequência, o Controle da Qualidade deixou de ser uma atividade restrita à inspeção final do produto e passou a atuar de forma preventiva, contribuindo para a identificação antecipada de desvios, redução de retrabalho, melhoria da rastreabilidade e aumento da confiabilidade dos processos produtivos (Juran & Godfrey, 1999; Feigenbaum, 1991).

3.2. Sistemas de Gestão da Qualidade

Os Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) constituem o conjunto de processos, procedimentos, responsabilidades e controles estabelecidos para assegurar que os produtos e serviços atendam aos requisitos especificados e promovam a melhoria contínua do desempenho organizacional (ABNT, 2015; Carpinetti, 2017).

No contexto industrial, o SGQ organiza e controla documentos como procedimentos, instruções de trabalho, formulários, registros, critérios de inspeção e indicadores de desempenho, permitindo que as atividades sejam executadas de forma padronizada e rastreável (Carpinetti, 2017).

A norma ABNT NBR ISO 9001:2015 estabelece requisitos para implementação e manutenção de Sistemas de Gestão da Qualidade baseados na gestão por processos, pensamento baseado em risco, tomada de decisão fundamentada em evidências e melhoria contínua.

A aplicação da Inteligência Artificial nesse ambiente depende diretamente da qualidade, integridade e atualização das informações disponibilizadas pelo SGQ, uma vez que os documentos controlados constituem uma das principais fontes de conhecimento utilizadas pelo modelo proposto.

3.3. Ensaios Não Destrutivos e Inspeções Industriais

As inspeções industriais têm como finalidade verificar se materiais, componentes, equipamentos e processos atendem aos requisitos técnicos estabelecidos em projetos, normas e especificações.

Entre as principais atividades de inspeção destacam-se as inspeções dimensionais, inspeções visuais, controle de soldagem, inspeções de pintura, verificações de montagem, testes funcionais e Ensaios Não Destrutivos (END), como Ensaio Visual (VT/EVS), Líquido Penetrante (PT/LP), Ultrassom (UT/US), Partículas Magnéticas (MT) e Radiografia Industrial (RT), conforme aplicáveis.

A execução dessas atividades exige profissionais qualificados, procedimentos específicos, instrumentos calibrados e rigorosa observância dos critérios de aceitação definidos pelas normas técnicas e pelos requisitos contratuais.

Embora a interpretação final dos resultados permaneça sob responsabilidade dos profissionais habilitados, diversas etapas do processo de inspeção podem ser apoiadas por ferramentas computacionais capazes de organizar informações, recuperar requisitos técnicos e auxiliar na preparação da documentação.

3.4. Transformação Digital e Indústria 4.0

A Transformação Digital representa a incorporação de tecnologias digitais aos processos organizacionais com o objetivo de aumentar a eficiência, melhorar a qualidade das informações e apoiar a tomada de decisão.

No ambiente industrial, esse movimento está associado aos conceitos da Indústria 4.0, caracterizada pela integração entre sistemas de informação, automação, conectividade, análise de dados e tecnologias inteligentes.

A utilização de recursos como computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos, análise de dados e Inteligência Artificial permite maior integração entre engenharia, produção, manutenção e controle da qualidade, favorecendo a automação de atividades administrativas e a disponibilização de informações em tempo real.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial surge como uma tecnologia capaz de ampliar a capacidade de processamento das informações técnicas, sem substituir a atuação dos profissionais responsáveis pelas decisões técnicas.

3.5. Inteligência Artificial Aplicada Ao Controle da Qualidade

A Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como o conjunto de técnicas computacionais capazes de executar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, tais como interpretação de informações, reconhecimento de padrões, inferência lógica, apoio à tomada de decisão e geração de conhecimento a partir de grandes volumes de dados.

Nos últimos anos, o avanço dos modelos de linguagem de grande porte (Large Language Models – LLMs), aliado à evolução das técnicas de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) e de processamento de linguagem natural (*Natural Language Processing* – *NLP*), ampliou significativamente o potencial de aplicação da IA em atividades de natureza técnica e documental.

No contexto do Controle da Qualidade, a IA apresenta potencial para atuar como ferramenta de apoio na interpretação de desenhos técnicos, normas, especificações, procedimentos, requisitos contratuais e registros de fabricação, consolidando essas informações em uma base única de conhecimento capaz de apoiar as atividades desenvolvidas pelos profissionais da qualidade.

Diferentemente dos sistemas convencionais baseados em regras fixas, a IA permite correlacionar informações provenientes de diferentes documentos, identificar inconsistências, recuperar rapidamente requisitos técnicos e auxiliar na elaboração de documentos e registros, reduzindo atividades repetitivas e aumentando a padronização dos processos.

Entretanto, sua utilização não elimina a necessidade de supervisão humana. A responsabilidade pelas decisões técnicas, pela execução das inspeções, pela avaliação da conformidade dos produtos e pela aprovação da documentação permanece sob responsabilidade dos profissionais qualificados, conforme estabelecido pelas normas técnicas e pelos Sistemas de Gestão da Qualidade.

3.6. Potenciais Aplicações da Inteligência Artificial no Controle da Qualidade

A literatura e as iniciativas de transformação digital na indústria demonstram que a aplicação da Inteligência Artificial pode abranger diversas etapas do processo de Controle da Qualidade.

Entre as principais aplicações destacam-se:

1. interpretação automática de desenhos técnicos e modelos tridimensionais;
2. identificação de requisitos normativos e contratuais;
3. consolidação de informações provenientes de diferentes documentos;
4. validação preventiva da documentação técnica;
5. elaboração automática de Planos de Inspeção e Testes (PIT);
6. geração de checklists e formulários de inspeção;
7. apoio à seleção de procedimentos de inspeção aplicáveis;
8. associação entre características inspecionadas e instrumentos de medição;
9. verificação da disponibilidade de qualificações, certificados e recursos;
10. apoio técnico durante a execução das inspeções;
11. validação automática dos resultados informados pelos inspetores;

12. identificação de inconsistências documentais;

13. preparação e organização do Data Book;

14. geração de indicadores de desempenho e apoio à melhoria contínua.

Essas aplicações demonstram que a IA possui potencial para atuar como elemento integrador entre diferentes áreas da organização, promovendo maior disponibilidade das informações, redução do tempo gasto com atividades administrativas e aumento da confiabilidade dos registros da qualidade.

3.7. Limitações e Desafios da Aplicação da Inteligência Artificial

Apesar do elevado potencial de utilização da Inteligência Artificial no ambiente industrial, sua aplicação apresenta limitações que devem ser consideradas durante o desenvolvimento e a implantação de soluções dessa natureza.

A principal limitação está relacionada à dependência da qualidade das informações utilizadas como base de conhecimento. Informações incompletas, documentos desatualizados, normas revogadas ou registros inconsistentes podem comprometer a qualidade das respostas fornecidas pelo sistema.

Outro aspecto importante refere-se à necessidade de governança das informações. Para que a IA produza resultados confiáveis, torna-se indispensável manter mecanismos de controle documental, gestão de revisões, rastreabilidade das fontes consultadas e atualização permanente da base de conhecimento.

Também devem ser considerados aspectos relacionados à segurança da informação, ao controle de acesso, à proteção de dados corporativos e à confidencialidade dos projetos, especialmente em organizações que atuam em segmentos sujeitos a requisitos regulatórios ou contratuais específicos.

Além disso, a Inteligência Artificial não substitui o conhecimento técnico dos profissionais responsáveis pelo Controle da Qualidade. A interpretação final dos resultados, a avaliação da conformidade, a disposição de não conformidades e a aprovação dos registros permanecem como atribuições de profissionais qualificados.

Assim, a IA deve ser compreendida como uma ferramenta de apoio à decisão, destinada a ampliar a capacidade analítica dos especialistas, reduzir atividades repetitivas e contribuir para a melhoria da eficiência operacional, sem substituir a responsabilidade técnica e legal dos profissionais envolvidos.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e natureza exploratória, tendo como objetivo propor um modelo conceitual para aplicação da Inteligência Artificial como ferramenta de apoio ao processo de Controle da Qualidade em empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria.

Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica e análise documental, contemplando literatura relacionada à Gestão da Qualidade, Sistemas de Gestão da Qualidade, inspeção industrial, Ensaios Não Destrutivos (END), Indústria 4.0, Transformação Digital e Inteligência Artificial.

Com base na revisão realizada, foi elaborado um modelo conceitual que representa o fluxo de utilização da Inteligência Artificial ao longo do processo de Controle da Qualidade, desde o recebimento das informações técnicas até a consolidação da documentação final do projeto.

O modelo foi estruturado considerando atividades tradicionalmente executadas pelos profissionais do Controle da Qualidade, incluindo interpretação de documentos, validação preventiva, planejamento das inspeções, preparação da documentação, apoio à execução das inspeções, validação dos resultados, consolidação dos registros e integração com sistemas corporativos.

Por se tratar de um modelo conceitual, não foi realizada implementação computacional nem validação experimental em ambiente industrial. Dessa forma, as funcionalidades descritas representam uma proposta fundamentada na literatura técnica e na análise dos processos normalmente empregados em empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria.

A estrutura metodológica adotada permite que o modelo seja utilizado como referência para futuros estudos voltados ao desenvolvimento, implementação e validação de soluções baseadas em Inteligência Artificial aplicadas ao Controle da Qualidade.

5. MODELO CONCEITUAL PROPOSTO

5.1. Objetivo do Modelo

O modelo conceitual proposto tem como finalidade demonstrar como a Inteligência Artificial pode ser aplicada como ferramenta de

apoio ao processo de Controle da Qualidade em empresas do setor metalúrgico e de caldeiraria.

A proposta considera a utilização da IA como um sistema capaz de integrar informações provenientes de diferentes fontes, interpretar requisitos técnicos, apoiar o planejamento das inspeções, automatizar atividades administrativas e auxiliar na consolidação da documentação da qualidade, mantendo a responsabilidade pelas decisões técnicas sob os profissionais habilitados.

O modelo foi desenvolvido considerando o fluxo normalmente adotado nos processos industriais de fabricação, iniciando-se com o recebimento da documentação técnica do projeto e finalizando com a organização da documentação necessária para composição do Data Book.

Sua estrutura busca representar, de forma integrada, as principais atividades do Controle da Qualidade, contemplando a interpretação das informações, a validação preventiva da documentação, o planejamento das inspeções, o apoio à execução das atividades, a validação dos resultados obtidos e a consolidação dos registros da qualidade.

Embora o modelo tenha sido desenvolvido com foco nas atividades típicas das empresas de caldeiraria e metalurgia, sua estrutura pode ser adaptada para outros segmentos industriais que utilizem processos de fabricação, inspeção e gestão documental semelhantes.

O fluxo geral do modelo conceitual é composto pelas seguintes etapas:

1. recebimento das informações de entrada;
2. consolidação da base de conhecimento;
3. interpretação dos requisitos técnicos;
4. validação técnica preventiva;
5. planejamento das inspeções;
6. preparação da documentação;
7. apoio à execução das inspeções;
8. validação dos resultados;
9. consolidação da documentação;
10. integração com sistemas corporativos.

Cada uma dessas etapas é apresentada detalhadamente nas seções seguintes.

5.2. Premissas e Limitações

A aplicação da Inteligência Artificial proposta neste trabalho baseia-se em um conjunto de premissas necessárias para garantir a consistência das análises e a confiabilidade das informações produzidas.

A primeira premissa estabelece que a IA deverá utilizar exclusivamente informações provenientes de documentos previamente disponibilizados e controlados pela organização,

incluindo normas técnicas, procedimentos internos, documentos do Sistema de Gestão da Qualidade, documentação específica dos projetos e registros gerados durante a fabricação.

Pressupõe-se ainda que toda a documentação utilizada esteja vigente, corretamente revisada e submetida aos controles estabelecidos pelo Sistema de Gestão da Qualidade. A utilização de documentos desatualizados ou inconsistentes compromete diretamente a qualidade das análises realizadas pela IA.

Outra premissa fundamental refere-se à manutenção contínua da base de conhecimento. Sempre que ocorrerem alterações em normas técnicas, procedimentos internos, desenhos, especificações, qualificações ou demais documentos utilizados pelo processo, essas informações deverão ser atualizadas antes de serem utilizadas pelo sistema.

Também se considera que todas as informações utilizadas pela IA permaneçam rastreáveis, permitindo identificar a origem dos dados, a revisão dos documentos consultados e os critérios técnicos empregados em cada análise.

Embora o modelo proposto apresente elevado potencial para automatização de atividades administrativas e apoio técnico às inspeções, sua utilização possui limitações inerentes ao processo.

A Inteligência Artificial não substitui a atuação dos profissionais responsáveis pelo Controle da Qualidade, permanecendo sob responsabilidade humana a execução das inspeções, a realização das medições e ensaios, a interpretação técnica dos resultados, a avaliação da conformidade dos produtos, a disposição de não

conformidades, a aprovação de reparos e a emissão dos registros oficiais da qualidade.

Da mesma forma, a IA não elimina a necessidade de cumprimento das normas técnicas, requisitos legais, procedimentos internos e requisitos contratuais estabelecidos para cada projeto.

Assim, o modelo deve ser compreendido como uma ferramenta de apoio ao processo decisório, destinada a ampliar a capacidade de análise dos profissionais, reduzir atividades repetitivas e aumentar a eficiência do processo de Controle da Qualidade, sem substituir o julgamento técnico e a responsabilidade profissional.

5.3. Entradas da Inteligência Artificial

O desempenho da Inteligência Artificial depende diretamente da qualidade, integridade e organização das informações que compõem sua base de conhecimento. Dessa forma, o modelo proposto considera que todas as análises realizadas pela IA sejam fundamentadas em informações previamente disponibilizadas e controladas pela organização.

As informações utilizadas podem ser agrupadas em duas categorias principais:

1. Base Permanente de Conhecimento, composta por documentos de utilização contínua, normalmente comuns à maioria dos projetos desenvolvidos pela organização.
2. Base Específica do Projeto, composta por informações particulares de cada contrato ou fornecimento, disponibilizadas antes do início do planejamento das

inspeções e atualizadas sempre que houver alterações durante sua execução.

Essa estrutura permite que a IA mantenha uma base de conhecimento estável para interpretação dos processos organizacionais, complementada pelas particularidades técnicas de cada projeto.

5.3.1. Padrões do Sistema de Gestão da Qualidade

Os documentos do Sistema de Gestão da Qualidade constituem uma das principais fontes de conhecimento utilizadas pela Inteligência Artificial.

Esses documentos definem os processos organizacionais, os procedimentos de inspeção, as instruções de trabalho, os formulários padronizados e os critérios utilizados para elaboração dos registros da qualidade.

Entre os principais documentos que poderão compor essa base destacam-se:

- Procedimentos do Sistema de Gestão da Qualidade;
- Instruções de trabalho;
- Formulários padronizados;
- Planos de inspeção;
- Planos de controle;

- Listas de verificação;
- Cadastros de instrumentos;
- Tabelas de apoio;
- Procedimentos de tratamento de não conformidades;
- Procedimentos para elaboração de Data Books.

Todos esses documentos deverão permanecer controlados e atualizados, garantindo que a IA utilize exclusivamente versões vigentes durante suas análises.

5.3.2. Normas Técnicas

As normas técnicas representam a principal referência para interpretação dos requisitos de fabricação, inspeção e aceitação dos produtos.

A base de conhecimento poderá contemplar normas nacionais e internacionais relacionadas, entre outras, aos seguintes temas:

1. dimensionamento e toleranciamento geométrico;
2. soldagem;
3. Ensaaios Não Destrutivos;
4. inspeção dimensional;
5. tratamento superficial;

6. pintura industrial;
7. galvanização;
8. materiais metálicos;
9. vasos de pressão;
10. tubulações industriais;
11. estruturas metálicas.

A composição dessa base dependerá das características dos produtos fabricados e dos requisitos contratuais aplicáveis a cada organização.

5.3.3. Base Permanente de Conhecimento

Além das normas e documentos do Sistema de Gestão da Qualidade, a IA poderá utilizar uma base permanente composta por informações técnicas de utilização recorrente, incluindo:

- especificações de procedimentos de soldagem;
- registros de qualificação de procedimentos;
- qualificações de soldadores;
- qualificações de inspetores;
- cadastro de instrumentos de medição;
- certificados de calibração;

- tabelas de materiais;
- especificações de consumíveis;
- procedimentos de inspeção;
- requisitos internos de fabricação.

Essa base deverá ser continuamente atualizada, permitindo que a IA mantenha coerência entre as análises realizadas e as condições vigentes da organização.

5.3.4. Informações Específicas do Projeto

Para cada novo projeto, deverão ser incorporadas à base de conhecimento todas as informações técnicas e contratuais necessárias ao planejamento e execução das inspeções.

Entre os principais documentos destacam-se:

- desenhos de fabricação;
- modelos tridimensionais, quando disponíveis;
- listas de materiais;
- especificações técnicas;
- requisitos contratuais;
- documentação fornecida pelo cliente;
- planos de fabricação;

- certificados de materiais;
- certificados de consumíveis;
- registros de fabricação;
- registros de inspeção emitidos durante o andamento do projeto;
- lista de desvios aprovados;
- demais documentos aplicáveis.

À medida que novas informações forem produzidas durante a fabricação, elas deverão ser incorporadas à base de conhecimento, permitindo que a IA mantenha continuamente atualizadas as análises realizadas e a rastreabilidade das informações utilizadas ao longo do processo.

5.4. Interpretação das Informações Pela Inteligência Artificial

Após o carregamento da base de conhecimento e da documentação específica do projeto, a Inteligência Artificial deverá realizar a interpretação integrada das informações disponíveis, correlacionando documentos técnicos, normas, procedimentos internos e requisitos contratuais para construir uma representação estruturada do projeto.

Essa etapa constitui o núcleo funcional do modelo proposto, pois transforma um conjunto de documentos independentes em uma base única de conhecimento capaz de subsidiar todas as etapas subsequentes do processo de Controle da Qualidade.

A interpretação das informações deverá ocorrer de forma sistemática, permitindo identificar automaticamente relações entre documentos, requisitos técnicos, critérios de inspeção e registros necessários ao longo do ciclo de fabricação.

5.4.1. Interpretação da Documentação Técnica

A IA deverá analisar os documentos técnicos disponibilizados para o projeto, identificando informações relevantes para o processo de Controle da Qualidade.

Entre os principais documentos analisados destacam-se:

- desenhos de fabricação;
- modelos tridimensionais;
- listas de materiais (BOM);
- especificações técnicas;
- notas de fabricação;
- documentos fornecidos pelo cliente;
- requisitos contratuais.

A partir dessa análise, a IA deverá extrair automaticamente as características técnicas que servirão de base para o planejamento das inspeções.

5.4.2. Identificação dos Requisitos Técnicos

Durante a interpretação dos documentos, a IA deverá identificar, sempre que aplicável:

- características dimensionais;
- tolerâncias dimensionais;
- tolerâncias geométricas (GD&T);
- referências geométricas (Datums);
- ajustes e folgas;
- materiais especificados;
- processos de fabricação;
- características críticas do produto;
- requisitos de inspeção obrigatória.

Essa identificação permitirá organizar os requisitos técnicos em uma estrutura única de consulta, reduzindo a necessidade de pesquisas manuais em diferentes documentos.

5.4.3. Interpretação de Soldagem

Quando o projeto envolver processos de soldagem, a IA deverá interpretar automaticamente:

- simbologia de soldagem;
- tipos de juntas;

- dimensões dos cordões;
- processos de soldagem especificados;
- requisitos para aplicação das Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS);
- qualificações exigidas para soldadores;
- requisitos para inspeção visual;
- requisitos para Ensaaios Não Destrutivos.

Essa interpretação permitirá relacionar automaticamente os requisitos de fabricação aos procedimentos de inspeção correspondentes.

5.4.4. Interpretação dos Requisitos Normativos

A IA deverá correlacionar os requisitos identificados na documentação do projeto com as normas técnicas aplicáveis.

Essa correlação permitirá identificar automaticamente:

- critérios de aceitação;
- métodos de inspeção;
- requisitos de medição;
- limites de tolerância;
- exigências documentais;

- requisitos específicos estabelecidos por normas ou clientes.

Essa funcionalidade reduz o tempo necessário para consulta simultânea de diferentes normas técnicas durante a preparação e execução das inspeções.

5.4.5. Consolidação da Base de Conhecimento do Projeto

Após a interpretação das informações, a IA deverá consolidar automaticamente todos os requisitos identificados em uma base única de conhecimento do projeto.

Essa base deverá conter, de forma estruturada:

- requisitos dimensionais;
- requisitos de soldagem;
- requisitos de materiais;
- requisitos de pintura e tratamento superficial;
- requisitos de Ensaios Não Destrutivos;
- critérios de aceitação;
- documentos de referência;
- procedimentos aplicáveis;
- registros previstos.

Essa consolidação constitui o principal diferencial do modelo proposto, pois elimina a fragmentação das informações normalmente observada nos processos convencionais de Controle da Qualidade.

5.5. Validação Técnica Preventiva

Após a consolidação da base de conhecimento, a IA deverá realizar uma validação técnica preventiva da documentação do projeto antes do início da fabricação.

O objetivo dessa etapa é identificar inconsistências, incompatibilidades, omissões e requisitos não atendidos que possam comprometer a fabricação, as inspeções ou a documentação da qualidade.

A antecipação dessas situações permite reduzir retrabalho, minimizar atrasos e aumentar a confiabilidade do planejamento das inspeções.

5.5.1. Validação da Documentação

A IA deverá verificar automaticamente aspectos como:

- compatibilidade entre desenhos e listas de materiais;
- coerência entre desenhos e especificações técnicas;
- existência de documentos obrigatórios;
- utilização de revisões vigentes;

- conflitos entre requisitos técnicos;
- informações incompletas ou divergentes.

5.5.2. Validação dos Requisitos Técnicos

A IA deverá avaliar se todos os requisitos identificados possuem suporte documental adequado, verificando:

- normas aplicáveis;
- procedimentos de inspeção;
- critérios de aceitação;
- requisitos específicos do cliente;
- exigências contratuais.

5.5.3. Validação dos Recursos Necessários

A IA poderá verificar previamente a disponibilidade dos recursos necessários para execução das inspeções, incluindo:

- procedimentos de inspeção;
- formulários correspondentes;
- instrumentos de medição;
- certificados de calibração;
- qualificação de inspetores;

- qualificações de soldadores;
- Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS).

Essa verificação permite identificar antecipadamente eventuais impedimentos para execução das atividades previstas.

5.5.4. Validação da Inspecionabilidade

Como diferencial do modelo proposto, recomenda-se que a IA avalie também a inspecionabilidade do projeto.

Essa análise consiste em verificar se as características especificadas poderão ser efetivamente inspecionadas nas condições previstas de fabricação e montagem.

Entre as situações que poderão ser identificadas destacam-se:

- regiões inacessíveis para medição após a montagem;
- soldas que impossibilitem a realização de determinados Ensaio Não Destrutivos;
- pontos de inspeção obstruídos;
- características sem acesso para instrumentos de medição;
- tolerâncias incompatíveis com a capacidade metrológica disponível.

Essa funcionalidade amplia o papel da IA permitindo não apenas verificar a documentação, mas também antecipar dificuldades práticas relacionadas ao processo de inspeção.

5.5.5. Relatório de Validação Técnica

Ao término da análise, a IA deverá emitir um relatório consolidado contendo:

- inconsistências identificadas;
- documentos ausentes;
- conflitos técnicos;
- requisitos pendentes;
- recursos indisponíveis;
- recomendações para tratamento das pendências.

Esse relatório deverá subsidiar a tomada de decisão pelos responsáveis técnicos antes do início das atividades de fabricação e inspeção.

5.6. Planejamento da Qualidade

Concluída a validação preventiva, a Inteligência Artificial deverá utilizar a base consolidada de conhecimento para elaborar automaticamente o planejamento das atividades de Controle da Qualidade.

O planejamento deverá considerar todas as informações obtidas nas etapas anteriores, permitindo definir de forma estruturada as inspeções necessárias, os critérios técnicos aplicáveis, os recursos requeridos e a documentação correspondente.

O objetivo dessa etapa é garantir que todas as atividades de inspeção sejam planejadas de forma padronizada, rastreável e consistente com os requisitos do projeto.

5.6.1. Elaboração do Plano de Inspeção e Testes

A IA poderá elaborar automaticamente o Plano de Inspeção e Testes (PIT), contemplando:

- sequência das inspeções;
- etapas do processo produtivo;
- características a serem verificadas;
- critérios de aceitação;
- normas aplicáveis;
- procedimentos correspondentes;
- registros necessários;
- Hold Points;
- Witness Points;
- responsáveis pelas atividades.

5.6.2. Planejamento dos Recursos

Para cada inspeção prevista, a IA poderá associar automaticamente:

- procedimento aplicável;
- formulário correspondente;
- instrumentos de medição;
- faixa de medição;
- resolução requerida;
- certificado de calibração;
- qualificação necessária do inspetor.

Essa associação reduz a preparação manual das inspeções e contribui para a padronização do processo.

5.6.3. Geração Automática de Checklists

Com base nos requisitos do projeto, a IA poderá gerar automaticamente listas de verificação específicas para cada etapa da fabricação.

Esses checklists poderão contemplar atividades relacionadas à:

- inspeção de recebimento;
- montagem;
- soldagem;
- inspeção dimensional;

- Ensaios Não Destrutivos;
- pintura;
- testes funcionais;
- inspeção final.

5.6.4. Consolidação do Planejamento

Ao término dessa etapa, a IA disponibilizará um conjunto estruturado de informações que servirá de base para a preparação dos registros da qualidade e para a execução das inspeções.

O planejamento consolidado deverá reunir, de forma integrada, os Planos de Inspeção e Testes, os checklists, os procedimentos aplicáveis, os instrumentos necessários, os critérios de aceitação e os registros previstos para cada etapa do processo produtivo.

5.7. Preparação dos Relatórios

Concluído o planejamento das inspeções, a Inteligência Artificial deverá preparar automaticamente a documentação necessária para execução das atividades previstas no Plano de Inspeção e Testes (PIT).

O objetivo desta etapa é disponibilizar aos inspetores registros previamente estruturados, contendo todas as informações conhecidas antes do início das inspeções, reduzindo atividades administrativas, minimizando erros de preenchimento e assegurando maior padronização documental.

Os relatórios deverão ser gerados a partir dos modelos padronizados adotados pela organização, preservando a identidade documental do Sistema de Gestão da Qualidade e garantindo rastreabilidade entre projeto, inspeção e registros produzidos.

5.7.1. Pré-Preenchimento dos Relatórios

A IA poderá preencher automaticamente todas as informações já disponíveis na base de conhecimento, incluindo:

- identificação do cliente;
- identificação do projeto;
- ordem de fabricação ou ordem de serviço;
- identificação do equipamento;
- componente inspecionado;
- número e revisão do desenho;
- etapa da fabricação;
- requisitos técnicos aplicáveis;
- critérios de aceitação;
- normas de referência;
- procedimentos de inspeção;
- identificação dos instrumentos previstos;

- identificação do inspetor responsável, quando disponível.

Os campos dependentes da execução da inspeção permanecerão disponíveis para preenchimento durante a realização das atividades.

5.7.2. Geração dos Registros de Inspeção

Com base nas características do projeto, a IA poderá preparar automaticamente os registros aplicáveis às diferentes etapas da fabricação, incluindo:

- inspeções dimensionais;
- inspeções de soldagem;
- Ensaios Não Destrutivos;
- inspeções de pintura;
- inspeções de galvanização;
- inspeções de montagem;
- testes funcionais;
- inspeções finais;
- demais registros previstos pelo Sistema de Gestão da Qualidade.

A seleção dos documentos deverá considerar os requisitos específicos de cada projeto e as atividades previstas no planejamento das inspeções.

5.7.3. Associação Automática dos Requisitos Técnicos

Cada relatório preparado pela IA deverá permanecer vinculado aos respectivos requisitos técnicos, permitindo que o inspetor tenha acesso imediato às informações necessárias para execução da inspeção.

Entre as informações associadas destacam-se:

- desenhos de referência;
- características inspecionadas;
- critérios de aceitação;
- procedimentos aplicáveis;
- normas técnicas;
- instrumentos previstos;
- certificados de calibração;
- qualificações requeridas.

Essa associação reduz consultas repetitivas à documentação técnica e favorece maior uniformidade na execução das inspeções.

5.7.4. Disponibilização da Documentação

Os registros preparados poderão ser disponibilizados em formato eletrônico ou impresso, conforme os procedimentos adotados pela organização.

Independentemente do formato utilizado, todos os documentos deverão permanecer vinculados ao projeto, aos componentes inspecionados, às etapas produtivas e aos respectivos registros de rastreabilidade.

5.8. Apoio à Execução das Inspeções

Durante a execução das inspeções, a Inteligência Artificial deverá atuar como ferramenta de apoio ao inspetor, disponibilizando informações técnicas, requisitos de inspeção e documentação de referência de forma rápida, organizada e contextualizada.

Nessa etapa, a IA não executa a inspeção nem substitui a avaliação técnica do profissional responsável. Sua função consiste em facilitar o acesso às informações necessárias para realização da atividade e reduzir o tempo gasto com consultas à documentação.

5.8.1. Disponibilização das Informações Técnicas

Durante cada inspeção, a IA poderá apresentar automaticamente:

- características a serem verificadas;
- localização da característica no desenho;
- dimensões nominais;
- tolerâncias dimensionais;
- tolerâncias geométricas (GD&T);
- critérios de aceitação;

- normas aplicáveis;
- procedimentos internos;
- sequência prevista no Plano de Inspeção e Testes.

Essa funcionalidade permite que o inspetor concentre sua atenção na execução da atividade, reduzindo interrupções para consulta documental.

5.8.2. Apoio à Interpretação Técnica

A IA poderá auxiliar na interpretação de:

- desenhos técnicos;
- simbologia de soldagem;
- requisitos dimensionais;
- tolerâncias geométricas;
- especificações de materiais;
- requisitos de pintura;
- requisitos de Ensaios Não Destrutivos;
- procedimentos internos.

Sempre que possível, as respostas deverão apresentar a referência documental utilizada, preservando a rastreabilidade da informação.

5.8.3. Registro dos Resultados

Durante a execução das inspeções, os resultados obtidos pelos inspetores poderão ser registrados diretamente nos documentos preparados pela IA.

Entre os dados registrados destacam-se:

- valores medidos;
- resultados de ensaios;
- observações;
- registros fotográficos;
- identificação de desvios;
- comentários técnicos.

Essas informações alimentarão automaticamente as etapas posteriores de validação e consolidação da documentação.

5.8.4. Tratamento Inicial de Não Conformidades

Quando forem registrados resultados incompatíveis com os critérios estabelecidos, a IA poderá:

- identificar o requisito não atendido;
- indicar a norma correspondente;
- registrar automaticamente a característica afetada;

- sugerir o procedimento interno aplicável ao tratamento da ocorrência;
- preparar a documentação necessária para abertura da não conformidade.

A disposição da não conformidade, bem como as decisões relacionadas a reparos, concessões ou rejeições, permanecerão sob responsabilidade dos profissionais autorizados.

5.9. Validação dos Resultados

Após a conclusão das inspeções, a IA deverá realizar a validação automática dos resultados registrados, comparando-os com os requisitos técnicos previamente identificados durante a interpretação da documentação.

Essa etapa tem como finalidade aumentar a confiabilidade dos registros, identificar inconsistências e apoiar a elaboração da documentação definitiva da qualidade.

5.9.1. Comparação com os Critérios de Aceitação

A IA poderá comparar automaticamente:

- dimensões medidas e dimensões especificadas;
- tolerâncias dimensionais;
- tolerâncias geométricas;
- critérios de aceitação de soldagem;

- critérios de aceitação de Ensaios Não Destrutivos;
- requisitos de pintura;
- requisitos funcionais.

Essa análise permitirá identificar resultados conformes, não conformes e informações inconsistentes.

5.9.2. Verificação da Consistência dos Registros

Além da análise técnica, a IA poderá verificar:

- preenchimento dos campos obrigatórios;
- coerência entre documentos relacionados;
- utilização dos instrumentos previstos;
- validade dos certificados de calibração;
- identificação dos responsáveis;
- existência das aprovações necessárias.

Essas verificações reduzem a probabilidade de emissão de registros incompletos ou inconsistentes.

5.9.3. Atualização Automática da Documentação

Após a validação dos resultados, os relatórios poderão ser atualizados automaticamente com:

- situação da inspeção;
- observações técnicas;
- identificação de não conformidades;
- registros complementares;
- evidências associadas;
- histórico das alterações realizadas.

Todos os registros deverão permanecer vinculados ao projeto e aos respectivos documentos de rastreabilidade.

5.9.4. Geração de Informações Gerenciais

Os resultados consolidados poderão ser utilizados para geração automática de indicadores relacionados ao desempenho do processo de Controle da Qualidade, tais como:

- quantidade de inspeções realizadas;
- índice de conformidade;
- frequência de não conformidades;
- principais causas de desvios;
- desempenho dos processos produtivos;
- histórico de inspeções.

Essas informações poderão subsidiar ações de melhoria contínua e apoiar a tomada de decisão pelos gestores da organização.

5.10. Consolidação da Documentação

Após a conclusão das inspeções e a validação dos resultados, a Inteligência Artificial deverá consolidar automaticamente toda a documentação da qualidade gerada durante o projeto.

O objetivo desta etapa é organizar os registros de forma padronizada, garantindo a rastreabilidade das informações, a integridade documental e a conformidade com os requisitos técnicos, contratuais e do Sistema de Gestão da Qualidade.

A consolidação automática reduz atividades administrativas, facilita auditorias e assegura que toda a documentação necessária esteja disponível antes da entrega do projeto.

5.10.1. Organização da Documentação

A IA poderá organizar automaticamente os documentos produzidos durante a fabricação, incluindo, quando aplicável:

- Plano de Inspeção e Testes (PIT);
- relatórios de inspeção;
- relatórios de Ensaio Não Destrutivo;
- relatórios dimensionais;
- relatórios de pintura;

- certificados de materiais;
- certificados de consumíveis;
- certificados de calibração;
- certificados de qualificação;
- registros de não conformidades;
- registros de reparos;
- demais documentos previstos para o projeto.

A organização deverá seguir a estrutura documental definida pela organização ou pelos requisitos específicos do cliente.

5.10.2. Verificação da Completude

Antes da emissão da documentação final, a IA poderá verificar automaticamente:

- existência dos documentos obrigatórios;
- correspondência entre documentos e requisitos do projeto;
- presença dos registros previstos no PIT;
- validade dos certificados;
- consistência da rastreabilidade;
- atendimento aos requisitos contratuais.

Quando forem identificadas pendências, a IA poderá emitir uma relação dos documentos ausentes ou inconsistentes para análise pelos responsáveis.

5.10.3. Geração do Data Book

Quando aplicável, a IA poderá consolidar automaticamente o Data Book do projeto, organizando os documentos na sequência estabelecida pela organização ou pelo cliente.

Entre as atividades automatizadas destacam-se:

- organização dos documentos;
- geração do índice;
- numeração automática das páginas;
- padronização dos títulos;
- criação de hiperlinks internos;
- geração do arquivo em formato eletrônico;
- preparação de versões bilíngues, quando requerido.

A aprovação e liberação do Data Book permanecerão sob responsabilidade dos profissionais autorizados.

5.10.4. Preservação da Rastreabilidade

Após a consolidação da documentação, a IA deverá manter a associação entre:

- projeto;
- equipamento;
- componente;
- desenho;
- material;
- processo de fabricação;
- inspeções realizadas;
- instrumentos utilizados;
- certificados;
- profissionais envolvidos;
- documentos emitidos.

Essa estrutura permitirá consultas futuras, auditorias e recuperação rápida das informações do projeto.

5.11. Integrações

Para ampliar a eficiência do processo de Controle da Qualidade, a aplicação da Inteligência Artificial poderá ser integrada aos sistemas corporativos utilizados pela organização, permitindo compartilhamento de informações, atualização automática de registros e maior sincronização entre os processos.

As integrações deverão respeitar os requisitos de segurança da informação, controle de acesso e governança estabelecidos pela organização.

5.11.1. Sistemas de Gestão da Produção

A IA poderá integrar-se aos sistemas responsáveis pelo gerenciamento da produção para:

- consultar Ordens de Serviço;
- acompanhar o andamento da fabricação;
- associar inspeções às etapas produtivas;
- atualizar o status das inspeções;
- registrar liberações das etapas de fabricação.

5.11.2. Sistemas de Gestão Documental

A integração com sistemas de gestão documental permitirá:

- acesso aos documentos vigentes;
- controle das revisões;
- armazenamento dos registros emitidos;
- consulta ao histórico documental;
- organização eletrônica dos projetos.

5.11.3. Sistemas de Engenharia

A IA poderá receber informações provenientes dos sistemas utilizados pela Engenharia, incluindo:

- desenhos técnicos;
- modelos tridimensionais;
- listas de materiais;
- revisões de projeto;
- especificações técnicas.

Essa integração garante que as análises sejam realizadas utilizando sempre a documentação mais atual.

5.11.4. Sistemas de Controle Metrológico

A IA poderá consultar automaticamente os sistemas responsáveis pelo controle dos instrumentos de medição para verificar:

- disponibilidade dos instrumentos;
- capacidade de medição;
- resolução;
- faixa de utilização;
- validade da calibração;

- certificados correspondentes.

5.11.5. Sistemas de Qualificação

A integração com bancos de dados de qualificação permitirá verificar automaticamente:

- qualificações de soldadores;
- Especificações de Procedimentos de Soldagem (EPS);
- qualificações de procedimentos;
- qualificações de inspetores;
- treinamentos obrigatórios;
- autorizações internas.

5.11.6. Plataformas de Compartilhamento

Quando necessário, a IA poderá preparar automaticamente a documentação destinada ao cliente ou a outros interessados, permitindo sua disponibilização em plataformas corporativas de compartilhamento de documentos.

5.11.7. Princípios das Integrações

Independentemente do sistema integrado, deverão ser preservados os seguintes princípios:

- integridade das informações;

- rastreabilidade das alterações;
- utilização de documentos vigentes;
- controle de acesso;
- registro das operações realizadas;
- manutenção da responsabilidade humana sobre decisões técnicas.

5.12. Benefícios Esperados

A aplicação da Inteligência Artificial ao processo de Controle da Qualidade tem potencial para aumentar significativamente a eficiência operacional, reduzir atividades repetitivas e ampliar a confiabilidade das informações utilizadas durante o ciclo de fabricação.

Os benefícios decorrem principalmente da integração entre conhecimento técnico, automação documental e apoio à tomada de decisão.

a. Maior Eficiência Operacional

A automação de atividades administrativas reduz o tempo dedicado à preparação de documentos, permitindo que os profissionais concentrem seus esforços em atividades de maior valor agregado.

b. Padronização dos Processos

A utilização de uma base única de conhecimento favorece maior uniformidade na interpretação dos requisitos técnicos, reduzindo variações entre inspetores e aumentando a consistência dos registros.

c. Preservação do Conhecimento Técnico

O conhecimento acumulado pela organização passa a ser estruturado em uma base digital, reduzindo a dependência do conhecimento individual e facilitando sua disseminação.

d. Redução de Retrabalho

A validação preventiva da documentação e dos requisitos técnicos possibilita identificar inconsistências antes do início da fabricação, reduzindo retrabalho, atrasos e custos associados às não conformidades.

e. Aumento da Rastreabilidade

A associação automática entre documentos, inspeções, materiais, instrumentos, profissionais e registros fortalece a rastreabilidade ao longo de todo o processo produtivo.

f. Maior Confiabilidade das Informações

A validação automática dos registros contribui para reduzir erros de preenchimento, inconsistências documentais e utilização de informações desatualizadas.

g. Melhor Apoio à Tomada de Decisão

A consolidação automática de informações e indicadores fornece aos gestores dados mais consistentes para acompanhamento do desempenho do processo e identificação de oportunidades de melhoria.

h. Escalabilidade da Solução

A estrutura proposta permite sua aplicação em organizações de diferentes portes e níveis de maturidade, podendo evoluir gradualmente conforme a disponibilidade de dados, recursos tecnológicos e integração entre sistemas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente digitalização dos processos industriais e o avanço das tecnologias de Inteligência Artificial criam oportunidades para a modernização das atividades de Controle da Qualidade, especialmente em setores que dependem de grande volume de documentação técnica, elevado rigor normativo e intensa rastreabilidade das informações.

O modelo conceitual apresentado neste trabalho demonstra que a IA pode atuar como uma ferramenta de apoio ao processo de Controle da Qualidade, integrando informações provenientes de normas técnicas, documentos de engenharia, Sistema de Gestão da Qualidade, registros de fabricação e requisitos contratuais para auxiliar o planejamento, a execução, a validação e a consolidação das inspeções.

Diferentemente de uma abordagem voltada exclusivamente à automação documental, o modelo proposto utiliza a IA para interpretar e correlacionar informações técnicas, permitindo que o

conhecimento necessário ao processo de inspeção seja organizado em uma base estruturada capaz de apoiar diferentes etapas do ciclo produtivo.

Entre as principais contribuições do modelo destacam-se:

- consolidação das informações técnicas em uma única base de conhecimento;
- validação preventiva da documentação antes do início da fabricação;
- automatização do planejamento das inspeções;
- preparação automática dos registros da qualidade;
- apoio técnico durante a execução das inspeções;
- validação automática dos resultados registrados;
- consolidação da documentação final e do Data Book;
- integração com sistemas corporativos.

A adoção desse modelo pode contribuir para a redução de retrabalhos, aumento da padronização das atividades, fortalecimento da rastreabilidade, preservação do conhecimento organizacional e melhoria da eficiência operacional do processo de Controle da Qualidade.

Entretanto, a aplicação da Inteligência Artificial deve ser compreendida como uma tecnologia de suporte à decisão. A

responsabilidade pelas inspeções, pelas medições, pela interpretação técnica dos resultados e pela aprovação dos registros permanece sob responsabilidade dos profissionais qualificados e autorizados pela organização, em conformidade com os requisitos normativos e regulatórios aplicáveis.

Além disso, a efetividade da solução depende diretamente da qualidade das informações disponibilizadas à IA. Bases documentais desatualizadas, inconsistentes ou incompletas comprometem a confiabilidade das análises realizadas, tornando indispensável a manutenção de processos robustos de gestão da informação e controle documental.

Por tratar-se de um modelo conceitual, este trabalho não contempla aspectos específicos de implementação computacional, arquitetura de software, desenvolvimento de algoritmos ou integração tecnológica entre sistemas. Esses temas deverão ser objeto de estudos complementares, considerando as características, infraestrutura e maturidade digital de cada organização.

Como perspectivas para pesquisas futuras, destacam-se:

- desenvolvimento de protótipos funcionais para validação do modelo proposto;
- aplicação de modelos de linguagem (Large Language Models – LLMs) em processos industriais;
- utilização de visão computacional para apoio às inspeções;
- integração com modelos tridimensionais e conceitos de Digital Twin;

- aplicação de Inteligência Artificial para análise preditiva da qualidade;
- avaliação quantitativa dos ganhos obtidos em produtividade, redução de custos, diminuição de não conformidades e melhoria da confiabilidade dos processos.

A aplicação da Inteligência Artificial no Controle da Qualidade representa uma evolução dos métodos tradicionais de gestão das inspeções, utilizando tecnologias digitais para apoiar profissionais, organizar informações e aumentar a eficiência do processo.

Sua utilização não substitui a competência técnica dos especialistas responsáveis pelas atividades de inspeção, mas amplia sua capacidade de análise, reduz tarefas repetitivas e fortalece a confiabilidade, a rastreabilidade e a padronização das informações produzidas ao longo do ciclo de fabricação.

Conclui-se que a aplicação da Inteligência Artificial possui elevado potencial para transformar o processo de Controle da Qualidade na indústria metalúrgica, proporcionando maior integração entre informações técnicas, processos e pessoas. Sua utilização pode representar um importante avanço na evolução dos Sistemas de Gestão da Qualidade, contribuindo para organizações mais eficientes, rastreáveis e orientadas por dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.3 — Process Piping**. New York: ASME.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section VIII – Division 1**. New York: ASME.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Y14.5 — Dimensioning and Tolerancing**. New York: ASME.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M — Structural Welding Code – Steel**. Miami: AWS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520:2023 – Informação e documentação — Citações em documentos — Apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724:2011 – Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023:2018 – Informação e documentação — Referências — Elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1101 — Geometrical Product Specifications (GPS) — Geometrical tolerancing**. Geneva: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13920 — Welding — General tolerances for welded constructions**. Geneva: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19840 — Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems.** Geneva: ISO.

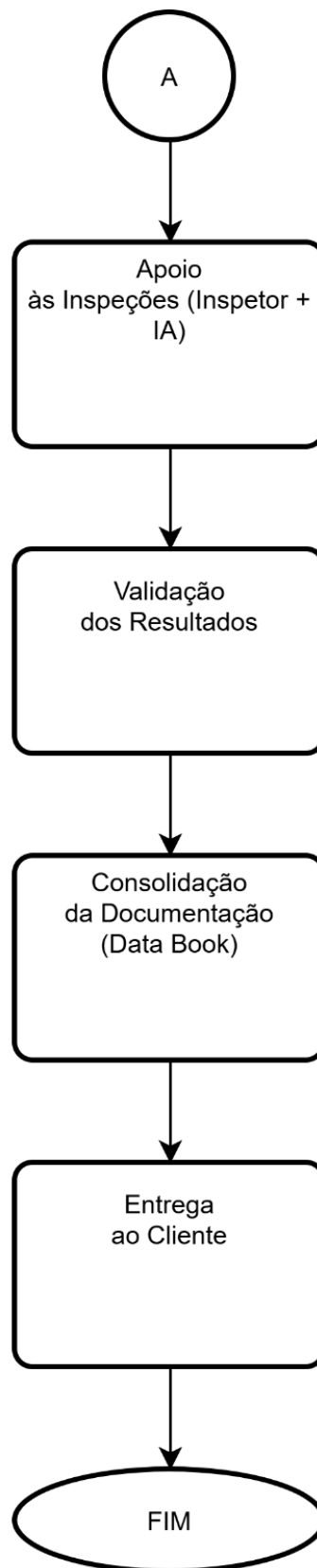
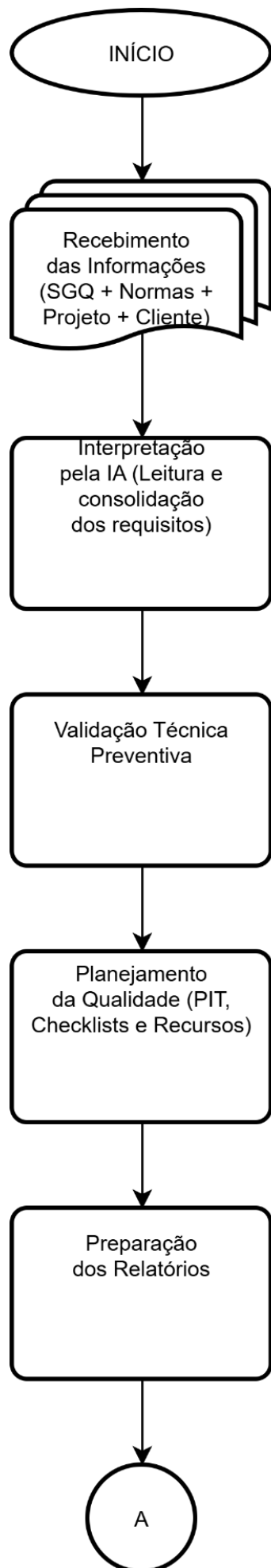
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2768 — General tolerances.** Geneva: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9001:2015 — Quality management systems — Requirements.** Geneva: ISO, 2015.

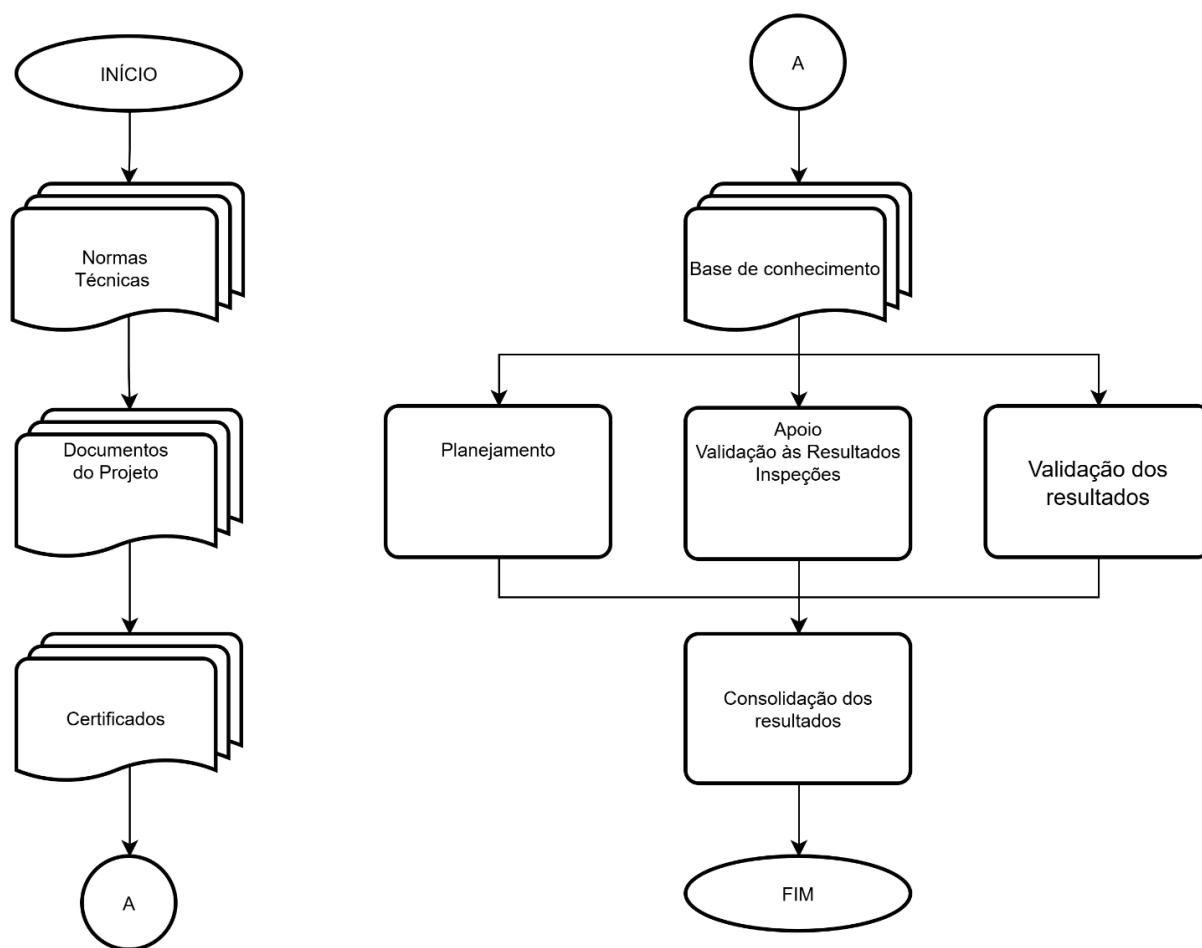
OPENAI. **GPT-5.5 Technical Overview.** OpenAI, 2025.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** 4. ed. Hoboken: Pearson, 2021.

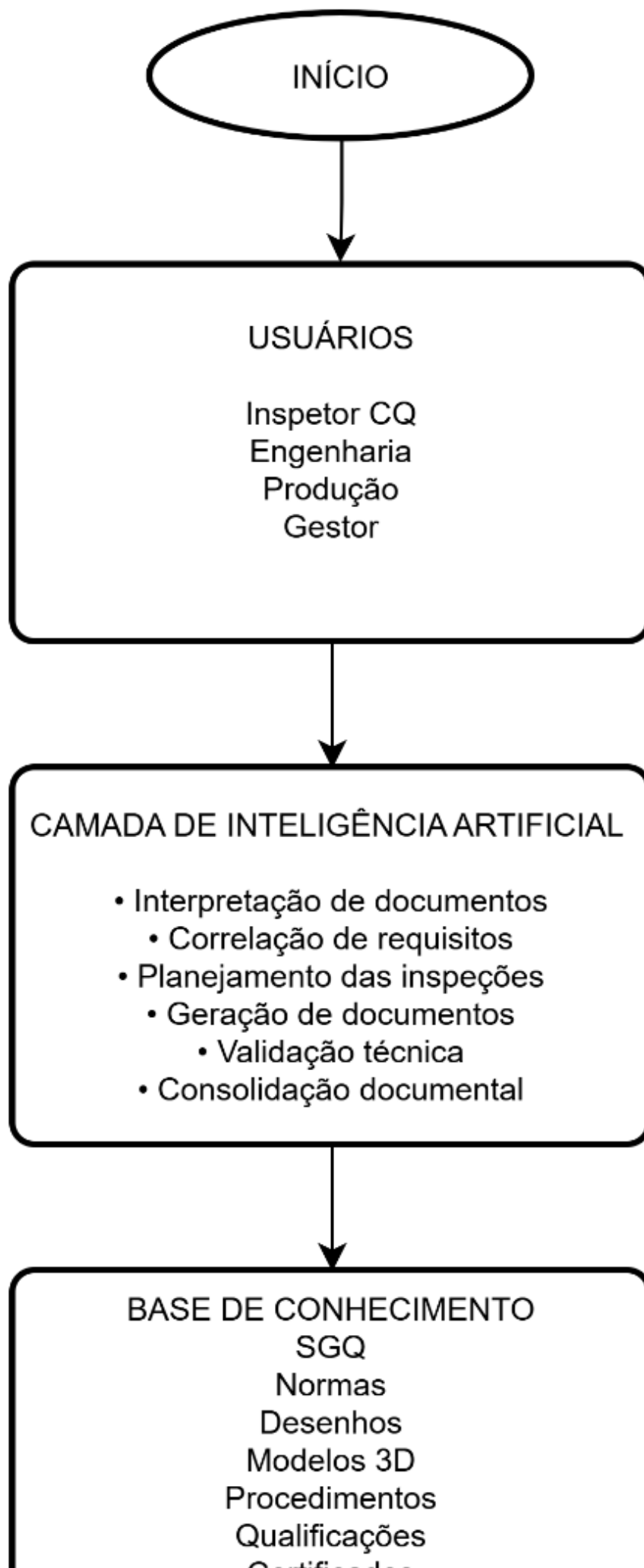
APÊNDICE A – FLUXOGRAMA GERAL DO PROCESSO PROPOSTO

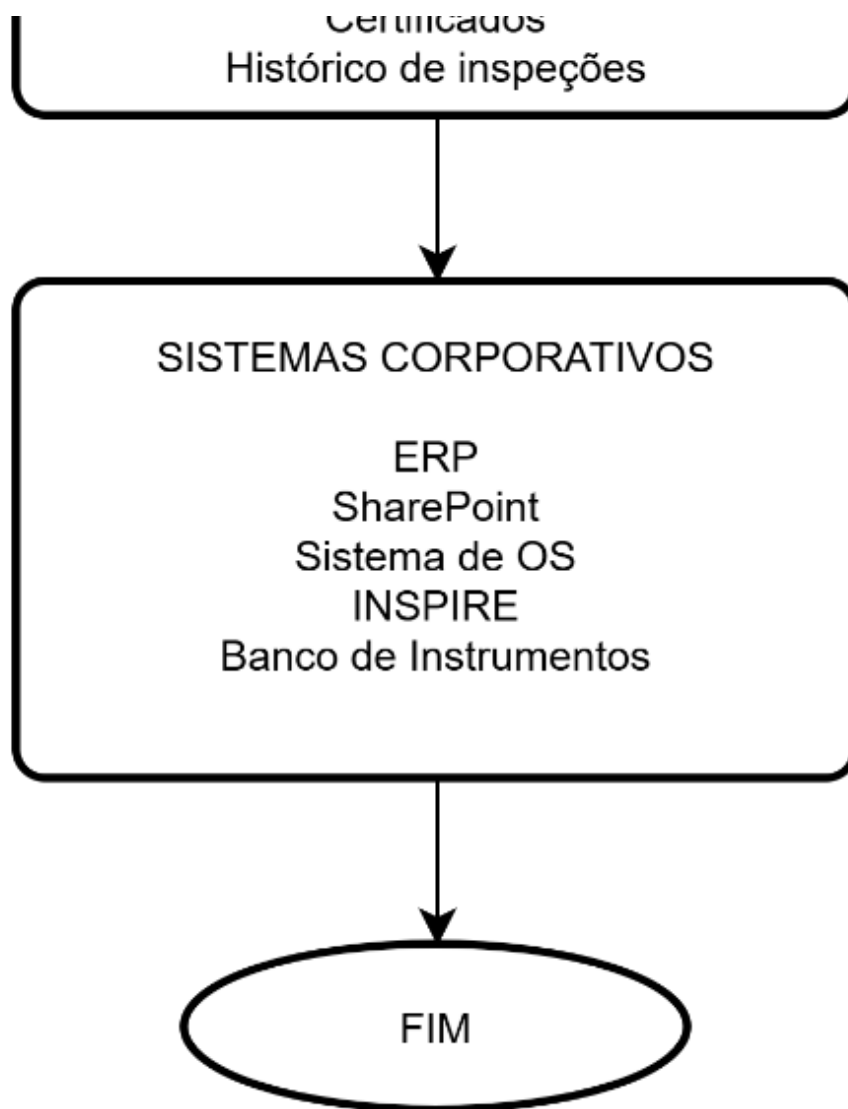


APÊNDICE B – FLUXO DAS INFORMAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

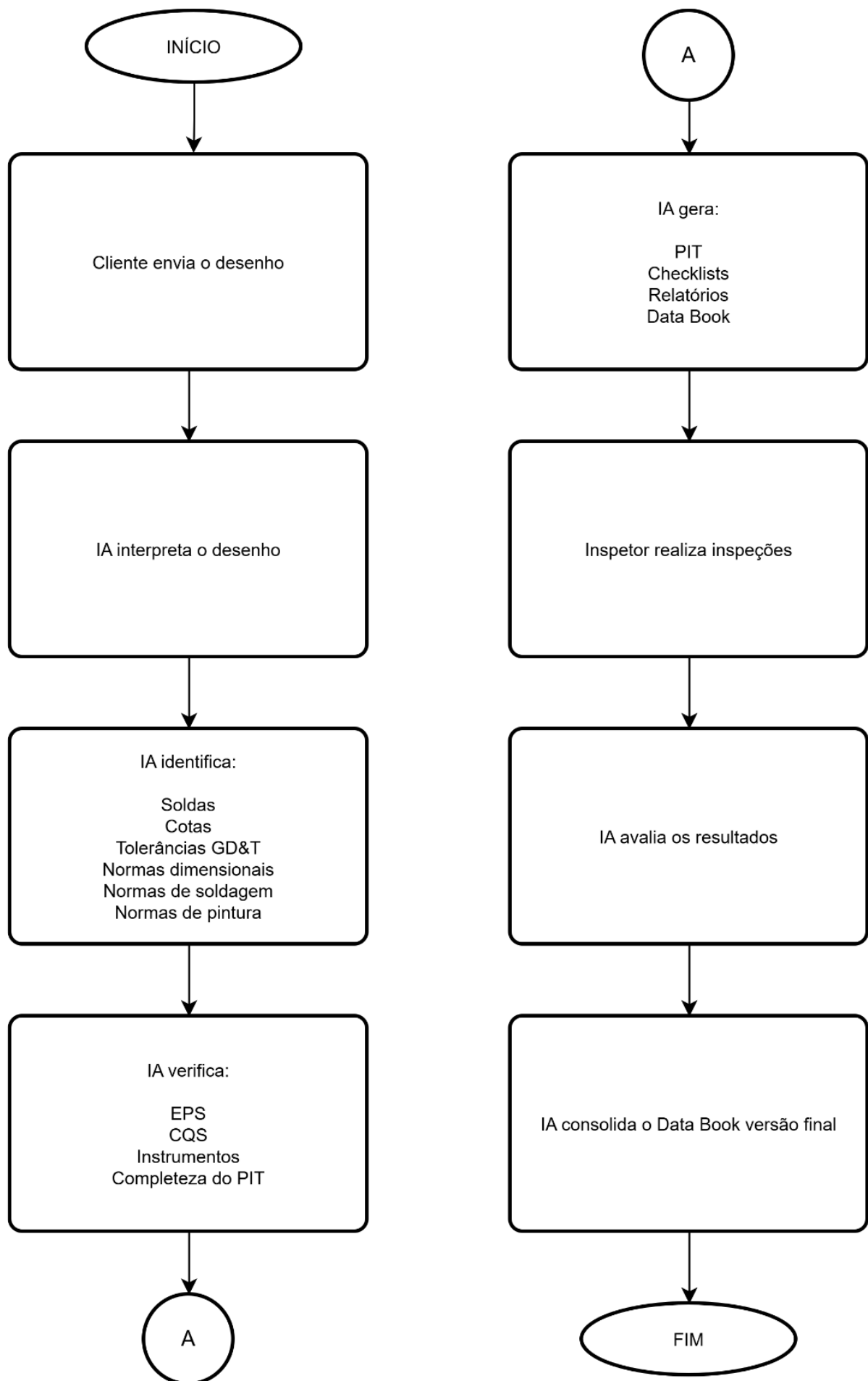


APÊNDICE C – ARQUITETURA CONCEITUAL DA SOLUÇÃO





APÊNDICE D – Exemplo de Funcionamento da IA em um Projeto



¹ E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)