

REALIDADE AUMENTADA APLICADA NO TREINAMENTO DE COLABORADORES NA INSPEÇÃO DA MANUFATURA DE BALANÇAS: UM ESTUDO NA ENGENHARIA DA QUALIDADE

*AUGMENTED REALITY APPLIED TO EMPLOYEE TRAINING IN SCALE
MANUFACTURING INSPECTION: A STUDY IN QUALITY ENGINEERING*

Dyego Lopes de Albuquerque - Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo

dyego.albuquerque@fatec.sp.gov.br

Pedro Castro de Moraes - Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo

pedro.morai6@fatec.sp.gov.br

Prof. Me. William Aparecido Celestino Lopes - Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo

william.lopes17@fatec.sp.gov.br

RESUMO

A qualidade dos produtos é essencial, e o processo de inspeção é fundamental para o controle de qualidade. O problema central identificado foi a dependência da disponibilidade de profissionais experientes para a capacitação de estagiários e aprendizes, resultando em inconsistências na instrução e atrasos operacionais devido à alta rotatividade. Para solucionar essa lacuna, a pesquisa propõe e desenvolve, através da metodologia Design Science Research (DSR), um aplicativo móvel com RA que fornece guias operacionais interativos no ambiente de trabalho. A aplicação foi avaliada e demonstrou uma melhoria significativa na eficiência do treinamento: o tempo para os colaboradores atingirem a autonomia operacional básica foi reduzido em aproximadamente 20%. A solução padronizou o material de instrução e liberou colaboradores experientes para tarefas mais complexas, fortalecendo a cultura de qualidade. Os resultados confirmam que a integração da RA na Engenharia da Qualidade confere uma vantagem competitiva sustentável.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Digitalização Industrial; Design Science Research; Eficiência Operacional; Tecnologia.

ABSTRACT

Product quality is essential, and the inspection process is fundamental for quality control. The central problem identified was the dependence on the availability of experienced professionals for the training of interns and apprentices, resulting in inconsistencies in instruction and operational delays due to high turnover. To address this gap, the research proposes and develops, through the Design Science Research (DSR) methodology, a mobile application with AR and QR Codes that provides interactive operational guides in the work environment. The application was evaluated and demonstrated a significant improvement in training efficiency: the time for employees to achieve basic operational autonomy was reduced by approximately 20%. The solution standardized the instruction material and freed up experienced employees for more complex tasks, strengthening the quality culture. The results confirm that the integration of AR into Quality Engineering provides a sustainable competitive advantage.

Keywords: Augmented Reality; Industrial Digitalization; Design Science Research; Operational Efficiency; Technology.

1. INTRODUÇÃO

A indústria tem passado por transformações profundas nas últimas décadas, impulsionadas pelo avanço das tecnologias digitais e pelo conceito de Indústria 4.0. Essa nova era produtiva tem como característica principal a integração entre sistemas físicos e virtuais, permitindo que máquinas, sensores e softwares atuem de forma conectada e inteligente. Nesse cenário, a automação e a digitalização vêm modificando não apenas a forma de produzir, mas também a maneira como se gerencia e garante a qualidade dos processos industriais (GÓMEZ; TORRES, 2024; ARAÚJO et al., 2024).

O controle de qualidade, tradicionalmente dependente da experiência humana, tem se beneficiado de soluções tecnológicas capazes de ampliar a precisão e reduzir a subjetividade das inspeções. A utilização de sensores, visão computacional e análise de dados em tempo real possibilita identificar falhas com maior rapidez, tornando o processo de inspeção mais confiável e eficiente. Esse movimento é especialmente relevante em setores que exigem alta precisão, como o de fabricação de balanças industriais, onde pequenas variações podem comprometer toda a operação (SUNDARAM; ZEID, 2023; ZARO; WEBBER, 2022).

Paralelamente a essa evolução tecnológica, surge a necessidade de preparar os profissionais para lidar com ambientes cada vez mais digitais e complexos. Nesse ponto, a Realidade Aumentada (RA) se destaca como uma ferramenta promissora para aproximar o ser humano da tecnologia. Ao sobrepor informações virtuais sobre o ambiente físico, a RA permite que operadores visualizem instruções, parâmetros técnicos e dados de desempenho diretamente no campo de trabalho. Essa interação dinâmica facilita a execução de tarefas, reduz erros e melhora o entendimento dos processos (SEELIGER et al., 2023; GÉLIO; GIOCONDO CÉSAR, 2022).

No contexto da inspeção de qualidade, a aplicação da RA pode representar um avanço importante. Ao guiar o colaborador passo a passo durante as etapas de verificação e calibração, a tecnologia contribui para a padronização das práticas e o aumento da precisão das medições. Além disso, a possibilidade de integrar dados em tempo real com sistemas de gestão de ativos torna o processo mais ágil e rastreável, aspectos essenciais para empresas que buscam excelência operacional (SILVA; MEDEIROS JÚNIOR; BALDO, 2024).

Outro campo em que a RA tem se mostrado especialmente eficaz é o treinamento de colaboradores. Por meio de simulações imersivas e interativas, é possível reproduzir situações reais de trabalho em um ambiente controlado e seguro. Essa abordagem acelera o aprendizado, fortalece a retenção do conhecimento e reduz custos associados à capacitação tradicional (ALVES et al., 2020; LOPES et al., 2022). Dessa forma, a tecnologia atua como uma ponte entre o conhecimento teórico e a prática, promovendo o desenvolvimento de competências técnicas e cognitivas alinhadas às exigências da Indústria 4.0.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo geral investigar o potencial da realidade aumentada no treinamento de colaboradores e na inspeção de qualidade de balanças industriais. Especificamente, busca-se identificar as lacunas nos processos atuais de inspeção, analisar a viabilidade da implementação da RA e avaliar o impacto dessa tecnologia na eficiência e na confiabilidade do controle de qualidade.

A pesquisa se justifica pela necessidade de integrar inovação tecnológica e gestão da qualidade em um mesmo ambiente, propondo soluções práticas e sustentáveis para o setor industrial. Ao mesmo tempo, o trabalho contribui para o avanço do conhecimento científico sobre o uso da RA em contextos produtivos, ainda pouco explorado no cenário

brasileiro.

Metodologicamente, o estudo combina uma pesquisa bibliográfica, voltada à análise de produções acadêmicas sobre o tema, e a Design Science Research (DSR), utilizada como base para a proposição e validação de um artefato tecnológico. Essa combinação permite alinhar teoria e prática, reforçando o caráter aplicado e exploratório da investigação (OLIVEIRA et al., 2022).

Em síntese, a pesquisa busca demonstrar que a realidade aumentada pode ir além do caráter experimental e se consolidar como uma ferramenta estratégica para aprimorar a eficiência operacional e a formação profissional em ambientes industriais. Ao aliar inovação e qualidade, espera-se contribuir para a construção de processos mais precisos, colaborativos e sustentáveis, capazes de fortalecer a competitividade das organizações no contexto da transformação digital.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Transformação Digital e Automação na Inspeção de Qualidade

A substituição de tarefas manuais por soluções digitais tem contribuído significativamente para o aumento da eficiência e a redução de erros nos processos de controle de qualidade, proporcionando maior agilidade no acompanhamento das etapas produtivas. A integração de sistemas automatizados, como sensores, robôs, visão computacional e plataformas digitais, permite análises em tempo real com elevado grau de precisão, reduzindo a interferência humana e melhorando os resultados obtidos. Essa abordagem é essencial para a otimização dos processos e para a diminuição das margens de erro, aspectos fundamentais em ambientes industriais de alta precisão, conforme apontam estudos que destacam a importância da automação para a padronização e repetibilidade das operações, favorecendo a rastreabilidade e a confiabilidade dos dados (GÓMEZ; TORRES, 2024).

Com a transformação digital, as empresas passaram a contar com dados mais confiáveis para a tomada de decisão, garantindo a rastreabilidade e o monitoramento contínuo das etapas de produção. Tecnologias como Big Data e Inteligência Artificial (IA) permitem o cruzamento de grandes volumes de dados, possibilitando o reconhecimento

de padrões e a antecipação de falhas. Esse ponto de vista, que prioriza a análise aprofundada para mitigar riscos, está em consonância com a literatura sobre Indústria 4.0, na qual a integração de dados se torna o pilar para operações mais eficientes e a redução de falhas inesperadas (ARAÚJO *et al.*, 2024).

A automação aplicada à inspeção de qualidade traz benefícios claros em setores que demandam alta precisão, como a fabricação de balanças. A confiabilidade desses equipamentos depende de processos padronizados e livres de interferência humana, algo que a digitalização torna possível com maior eficácia, impactando diretamente na redução de retrabalho e agilidade nas correções, o que se traduz em menores custos operacionais. Esta perspectiva se alinha com estudos que documentam o aumento de produtividade e a eliminação de erros humanos como resultados diretos da implementação de sistemas automatizados de qualidade (SUNDARAM; ZEID, 2023).

A análise preditiva, alimentada por dados históricos e atuais, permite intervenções antecipadas e ações de melhoria contínua, consolidando uma cultura de qualidade sólida e alinhada às exigências do mercado. A aplicação dessa análise nas operações industriais não só melhora a eficiência, mas fortalece a qualidade e a segurança ao antecipar falhas. Embora a literatura nacional foque em setores específicos, a ideia de que a diminuição da repetitividade e do risco de erro humano contribui para um ambiente de produção mais seguro é um consenso entre os autores que estudam a aplicação de IA na manutenção preditiva e na gestão de riscos (ZARO; WEBBER, 2022).

2.2 Realidade Aumentada no Contexto Industrial: Aplicações e Benefícios

A Realidade Aumentada (RA) tem transformado a forma como os operadores interagem com os sistemas industriais, ao sobrepor informações digitais ao ambiente físico, facilitando a visualização de dados em tempo real. Isso torna os processos mais intuitivos e eficazes, principalmente durante inspeções e manutenções, promovendo uma interação mais fluida com as máquinas, o que reduz o tempo de resposta e melhora a qualidade das operações. Há, contudo, uma ressalva em algumas obras internacionais que apontam para a necessidade de um design de interface robusto para que a RA não sobrecarregue o operador com informações excessivas (SEELIGER *et al.*, 2023).

Com a RA, dados como especificações dos produtos, instruções operacionais e condições de calibração podem ser acessados diretamente no ambiente de trabalho, eliminando a necessidade de consultar manuais físicos. Essa tecnologia favorece a

redução de erros e o aumento da produtividade, especialmente no controle de qualidade de balanças industriais, ao simplificar o treinamento e reduzir a dependência de documentos. Embora haja essa convergência sobre os benefícios operacionais, a eficácia da RA depende da sua integração com o sistema de gestão de ativos, um ponto de divergência técnica na sua implementação (GÉLIO; GIOCONDO CÉSAR, 2022).

A RA orienta visualmente os operadores, destacando pontos críticos de inspeção e fornecendo instruções passo a passo, o que garante a correta execução dos procedimentos, é essencial para padronizar processos e assegurar que os critérios técnicos sejam atendidos de maneira consistente, resultando na redução de erros operacionais e aumento da eficiência. Essa perspectiva nacional está em sintonia com a visão global que vê a RA como uma ferramenta de compliance, garantindo que os operadores sigam instruções precisas em tempo real e, assim, melhorem a conformidade com os padrões estabelecidos (ALVES et al., 2020).

Outra aplicação importante da RA está nos treinamentos, permitindo que novos colaboradores se familiarizem com os equipamentos e procedimentos por meio de simulações interativas e seguras. Essa abordagem acelera o aprendizado, reduz riscos e promove maior retenção do conhecimento, otimizando o processo de onboarding ao oferecer um ambiente controlado para prática. Enquanto alguns autores focam na redução de custos de treinamento com a RA, a literatura crítica também explora o desafio de manter os conteúdos de RA atualizados e alinhados com as constantes modificações nos processos produtivos (LOPES et al., 2022).

2.3 Inspeção de Qualidade e Gestão: A Nova Era da Tecnologia

O setor de balanças exige níveis elevados de precisão e segurança, tornando o controle de qualidade uma etapa indispensável. A confiabilidade dos equipamentos depende de processos rigorosos de inspeção, medição e verificação, que devem ser constantemente aprimorados. Eles veem a implementação de tecnologias de medição atualizadas como essencial para manter a qualidade e a conformidade, fortalecendo a posição competitiva das empresas. No entanto, é crucial notar que a simples adoção de tecnologia, sem um aprimoramento na gestão, não garante o sucesso, conforme argumentam autores que focam no fator humano e na cultura de qualidade. (ROCA-GÓMEZ et al., 2020)

Um dos principais desafios enfrentados nesse setor é garantir que as balanças

mantenham seu desempenho mesmo após longos períodos de uso e exposição a condições adversas. Para isso, é fundamental investir em sistemas de medição automatizados, plataformas de calibração digital e ferramentas de análise em tempo real, que aumentam a confiabilidade dos resultados e reduzem o tempo de parada. Essa otimização dos processos de verificação, focada em maior precisão e durabilidade, converge com a literatura que advoga pela gestão preditiva de ativos como uma estratégia de minimização de falhas operacionais e maximização da vida útil do equipamento (ZARO; WEBBER, 2022).

Com a digitalização, torna-se possível integrar os processos de inspeção com bancos de dados técnicos e históricos, facilitando a detecção de falhas, a rastreabilidade e a geração de relatórios. A adoção de tecnologias como RA e IA nesse cenário permite intervenções mais ágeis e decisões baseadas em dados, tornando o controle de qualidade mais preciso, através da análise preditiva e monitoramento contínuo. Apesar desse consenso sobre o ganho de agilidade, a literatura internacional frequentemente levanta o desafio da cibersegurança nesse ambiente de dados altamente integrado, uma preocupação que merece mais diálogo na produção científica nacional (AZAMBUJA; ALMEIDA, 2021).

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada utilizando dois métodos. O primeiro foi a pesquisa bibliográfica, a qual se caracteriza pelo levantamento, análise e interpretação de produções acadêmicas já publicadas em periódicos, artigos, dissertações e anais de eventos científicos. Esse procedimento possibilitou a construção de um referencial teórico consistente, com foco na aplicação da realidade aumentada (RA) em treinamentos corporativos e na sua inserção no contexto da Indústria 4.0. Conforme destacam Silva, Medeiros Júnior e Baldo (2024), o estudo bibliográfico é indispensável para compreender os avanços recentes em tecnologias digitais imersivas e sua aplicabilidade nos processos produtivos contemporâneos.

Dentro da revisão realizada, especial atenção foi dada a pesquisas que exploram a utilização da realidade aumentada como recurso de apoio ao treinamento de colaboradores em ambientes industriais. Lopes *et al.* (2022) ressaltam que a RA promove

ganhos significativos de eficiência e redução de falhas em processos de capacitação, permitindo que trabalhadores interajam com instruções virtuais sobrepostas ao ambiente real. De forma complementar, Lopes *et al.* (2022) apontam que a integração de tutoriais interativos em realidade aumentada contribui para o desenvolvimento de competências práticas, potencializando a aprendizagem no ambiente corporativo e atendendo às demandas da Indústria 4.0.

A análise crítica da literatura consultada também permitiu compreender os desafios relacionados à adoção dessa tecnologia, como custos de implementação, resistência cultural e a necessidade de adaptação de processos. Ainda assim, conforme observam Silva, Medeiros Júnior e Baldo (2024), a realidade aumentada, quando aplicada em treinamentos industriais, amplia as possibilidades de monitoramento, acompanhamento em tempo real e tomada de decisão (SILVA *et al.*, 2024). Dessa forma, a pesquisa bibliográfica realizada forneceu subsídios teóricos essenciais para discutir o papel estratégico da RA como ferramenta de capacitação e inovação no cenário da Indústria 4.0.

Além da pesquisa bibliográfica, este trabalho adota, nas etapas subsequentes, o método Design Science Research (DSR) como estratégia complementar. O DSR é um método voltado à construção e avaliação de artefatos inovadores, de natureza tecnológica ou organizacional, com o objetivo de resolver problemas reais por meio de soluções aplicáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2022). A escolha desse método justifica-se pela necessidade de alinhar os conhecimentos levantados na literatura à criação de um artefato que integre realidade aumentada e práticas de treinamento empresarial, no escopo da Indústria 4.0. Assim, a pesquisa assume caráter exploratório e aplicado, utilizando a bibliografia como base conceitual e o DSR como caminho metodológico para a proposição e validação da solução.



Figura 1– Etapas do DSR

Fonte: Adaptado do PEEFERS (2007)

3.1 Identificação do Problema

Irá ser realizada uma visita técnica à empresa com a finalidade de reunir com os responsáveis pelo setor de controle de qualidade, buscando compreender de maneira detalhada os processos operacionais e de inspeção. Durante o encontro, pretende-se identificar as principais dificuldades enfrentadas pelos colaboradores e analisar o grau de conformidade em relação aos procedimentos internos já definidos. Também irá ser avaliada a presença de limitações relacionadas à integração e à disponibilidade das informações nos sistemas, especialmente no processo de capacitação de novos profissionais, aspecto que influencia diretamente o tempo necessário para a aprendizagem e a execução correta das atividades do setor.

Será verificado as vagas destinadas a contratos temporários voltados a jovens em início de carreira, com tempo médio de permanência entre seis meses e dois anos. Essa rotatividade elevada configura um desafio, uma vez que os colaboradores mais experientes ficam responsáveis por tarefas de maior complexidade, que exigem atenção constante e precisão em prazos reduzidos. Nesse cenário, o tempo despendido na orientação dos recém-contratados compromete o ritmo de produção e impacta o desempenho da equipe, evidenciando a necessidade de uma alternativa que torne o repasse de conhecimento mais rápido e eficaz.

3.2 Solução do Problema

A solução proposta para resolver os problemas identificados será o desenvolvimento de um aplicativo móvel integrado a recursos de realidade aumentada (RA), com o objetivo de apoiar o treinamento e a instrução de novos colaboradores. O sistema permitirá que os operadores, tanto durante quanto após os treinamentos, acessem informações detalhadas sobre os instrumentos e visualizem os equipamentos em RA, possibilitando uma compreensão mais clara de sua forma e função.

A utilização da tecnologia de realidade aumentada tornará possível oferecer uma sobreposição visual dos instrumentos, facilitando a identificação correta e a execução adequada das atividades de inspeção, especialmente em um ambiente com grande variedade de equipamentos. Assim, a solução buscará melhorar a organização e a eficiência do processo, reduzir falhas operacionais, eliminar dúvidas sobre o uso e o manuseio dos materiais, otimizar o tempo destinado às instruções e contribuir para o desempenho dos colaboradores.

3.3 Projeto e Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do aplicativo, serão utilizadas as tecnologias Power Apps, para criar a interface, e WebAR, para permitir a visualização das ferramentas em realidade aumentada, com foco em oferecer uma navegação simples e de fácil uso. O sistema será desenvolvido para funcionar em dispositivos móveis, sendo empregados tablets durante os treinamentos, com o objetivo de facilitar a compreensão dos operadores.

Durante o desenvolvimento, serão considerados alguns pré-requisitos importantes para garantir o bom funcionamento da solução no ambiente de trabalho. O sistema será projetado para permitir o acesso rápido a informações detalhadas, possibilitando consultar dados completos sobre cada material, o procedimento de inspeção e de testes. A tecnologia de realidade aumentada será utilizada como apoio, oferecendo instruções visuais que auxiliam novos colaboradores a aprender de forma prática e clara, reduzindo dúvidas sobre os procedimentos.

O aplicativo será integrado ao sistema de gestão da qualidade já adotado pela empresa, possibilitando a atualização das informações em tempo real. Sua interface será desenvolvida com foco em uma navegação simples e intuitiva, de modo a facilitar o uso e reduzir o tempo de adaptação dos colaboradores. Na Figura 2, é apresentado o fluxograma referente ao funcionamento do aplicativo. A ferramenta contará com suporte

para operação offline, garantindo o acesso em todas as áreas da fábrica.

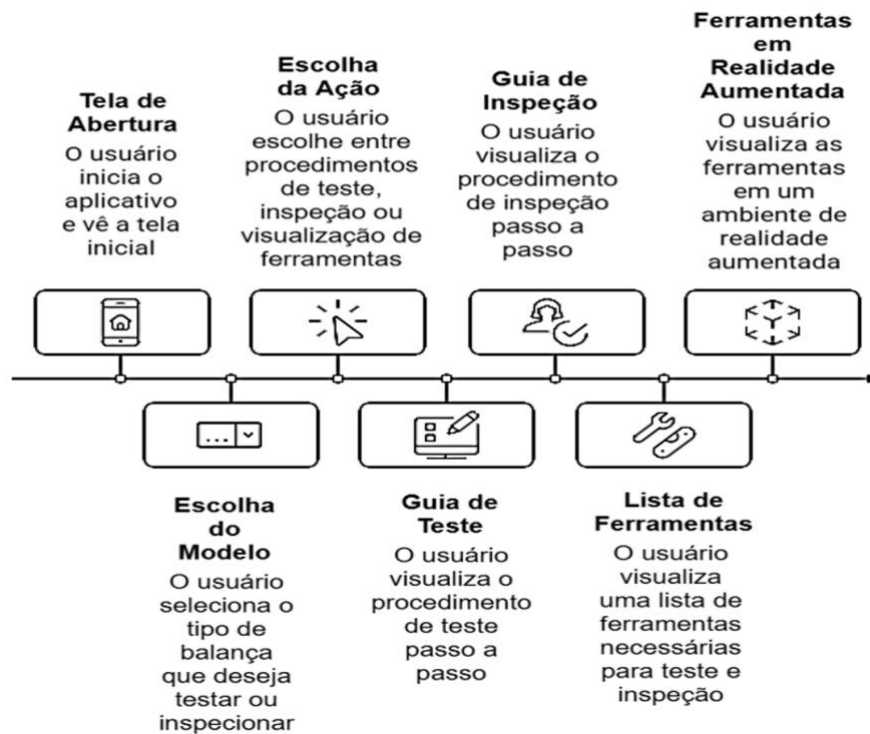


Figura 2 – Fluxograma para desenvolvimento da solução
Fonte: Autores (2025)

3.4 Demonstração da solução

Após o desenvolvimento, a validação irá ser realizada no ambiente de controle de qualidade da empresa, por meio de uma simulação de treinamento para demonstrar o uso do aplicativo. Para isso, irá ser promovida uma reunião com os operadores, em que a equipe irá apresentar e ensinar o novo método de treinamento baseado no aplicativo móvel. O aplicativo irá ser utilizado para acessar informações detalhadas dos instrumentos, indicando qual equipamento deve ser usado em cada produto. A simulação terá como objetivo validar a funcionalidade da solução, verificando se o aplicativo consegue otimizar o processo de inspeção, principalmente em situações em que os operadores não têm certeza sobre qual material utilizar, confirmando o fluxo de informação e a usabilidade.

3.5 Avaliação e validação do artefato

A validação da solução proposta irá ser realizada para verificar a eficácia do aplicativo móvel com realidade aumentada no ambiente de trabalho. A validação irá

envolver 3 operadores do setor de controle de qualidade durante um período de 4 semanas, permitindo acompanhar o desempenho após a implementação da nova ferramenta de treinamento. Para coletar os dados, irão ser utilizados questionários estruturados aplicados aos participantes e a observação direta das atividades, com foco no tempo de assimilação de novos procedimentos e na redução de falhas na identificação de instrumentos. A análise dos resultados irá ser feita por meio da comparação das métricas de desempenho e do tempo de instrução antes e durante o uso do aplicativo, buscando medir a melhora na precisão das inspeções e na eficiência do processo de capacitação. Os critérios de análise irão considerar a redução média de tempo de inspeção e a diminuição dos erros de manuseio como indicadores de sucesso da solução desenvolvida.

4. Resultados e Discussões

4.1 Demonstração da solução

Anteriormente, o processo de capacitação dependia totalmente da disponibilidade dos profissionais mais experientes, o que gerava inconsistência na qualidade da instrução e atrasos no processo de inspeção devido à necessidade constante de suporte.

Com a introdução do aplicativo, que insere guias operacionais em RA diretamente no ambiente de trabalho, podemos obter uma melhoria considerável na eficiência do treinamento. O tempo necessário para que um estagiário ou aprendiz alcançasse a autonomia operacional básica pode ser reduzido em comparação com o modelo tradicional. Essa otimização é um resultado concreto, explicado pelo fato de que os profissionais mais experientes não precisariam mais estar à disposição o tempo todo, já que as dúvidas se tornam menos frequentes e mais complexas. O aprendiz e o estagiário passam a seguir grande parte do processo de forma autônoma.

O acompanhamento semanal indicou uma evolução clara na curva de aprendizado dos novos colaboradores. Nas primeiras atividades, ainda havia dependência frequente do aplicativo, mas, com a prática, o tempo de execução diminuiu e a confiança aumentou. Ao final do período analisado, o desempenho dos iniciantes aproximou-se dos operadores experientes, evidenciando que a RA acelerou a assimilação dos procedimentos.

O uso do aplicativo permite que os colaboradores mais experientes sejam "liberados"

para se concentrar em atividades de maior complexidade, mantendo seu papel de mentores apenas nas situações que realmente exigiam seu conhecimento especializado. Um ponto importante é que o material de treinamento passou a ser padronizado e acessível a qualquer momento, garantindo que todos os novos contratados recebessem uma base de conhecimento uniforme e consistente, o que eliminou as variações que surgiam com métodos instrucionais individuais.

4.3 Desenvolvimento do Projeto

O aplicativo foi desenvolvido utilizando a tecnologia Power Apps, em conjunto com o programa WebAR, com o foco na criação de uma interface funcional e amigável para os usuários, podendo ser visualizada na figura 3. O sistema oferece funcionalidades que permitem aos operadores obter informações detalhadas sobre os materiais de inspeção, como qual instrumento de medição usar e como manuseá-lo corretamente, com o apoio de figuras para ilustrar as telas.

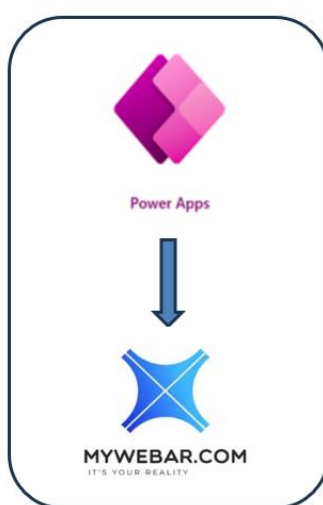


Figura 3 – Estrutura criação do aplicativo

Fonte: Autores (2025)

A integração com o sistema de gestão de qualidade assegurou que os dados fossem sincronizados em tempo real, proporcionando visibilidade e controle sobre as ferramentas de medição. O aplicativo foi pensado para operar em ambientes online e offline, o que lhe confere flexibilidade em diversos contextos operacionais.

A página inicial do aplicativo, mostrada na Figura 4, é a primeira exibida ao usuário no momento da inicialização.



Figura 4 – Tela inicial do aplicativo

Fonte: Autores (2025)

A página selecione o modelo, ilustrada na Figura 5, é a segunda exibida ao usuário, permitindo que o operador selecione o tipo de balança que será inspecionado.



Figura 5 - Seleção do modelo de balança

Fonte: Autores (2025)

A página ilustrada na Figura 6, é a página onde o operador pode acessar o procedimento de inspeção, ferramentas e procedimento teste.



Figura 6 – Procedimento testes, inspeção e ferramentas

Fonte: Autores (2025)

Na Figura 7, pode ser visualizada o passo a passo do procedimento de inspeção da balança.



Figura 7 – Procedimento de inspeção

Fonte: Autores (2025)

Na Figura 8, tem acesso a quais ferramentas será necessário para inspeção dos materiais.



Figura 8 – Ferramentas para inspeção

Fonte: Autores (2025)

A tela ilustrada na Figura 9, é a tela que pode ser visualizada o ferramental.

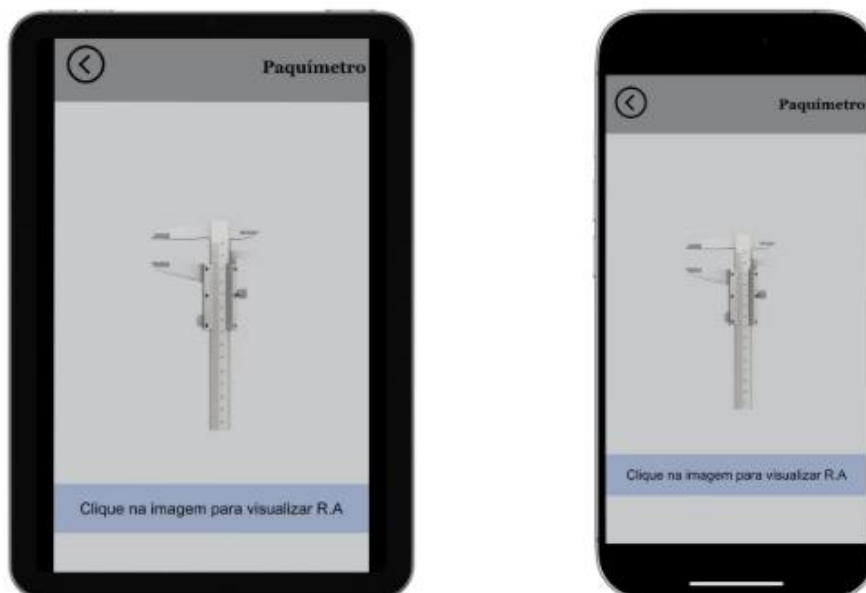


Figura 9 – Visualização da ferramenta

Fonte: Autores (2025)

As Figuras 10 e 11 apresentam a visualização da ferramenta em Realidade

Aumentada (RA). Nessa interface, o usuário pode interagir diretamente com a ferramenta, explorando seus detalhes e funcionalidades de forma imersiva e dinâmica. Essa interação proporciona uma experiência prática e envolvente, permitindo compreender o funcionamento da ferramenta de maneira intuitiva e funcional, trazendo agilidade ao processo.

A Figura 9 apresenta o instrumento de medição paquímetro em Realidade Aumentada, amplamente utilizado nos processos de inspeção dos diferentes tipos de balanças. Seu uso é fundamental para a verificação de dimensões que exigem altos níveis de precisão, especialmente em medidas com tolerâncias reduzidas.



Figura 10 - Paquímetro visto em Realidade Aumentada

Fonte: Autores (2025)

A Figura 11 apresenta o instrumento de medição Trena em Realidade Aumentada, amplamente utilizado nos processos de inspeção dos diferentes tipos de balanças. Seu uso é fundamental para a verificação de dimensões extensas, como por exemplo o comprimento de trilhos ferroviários.

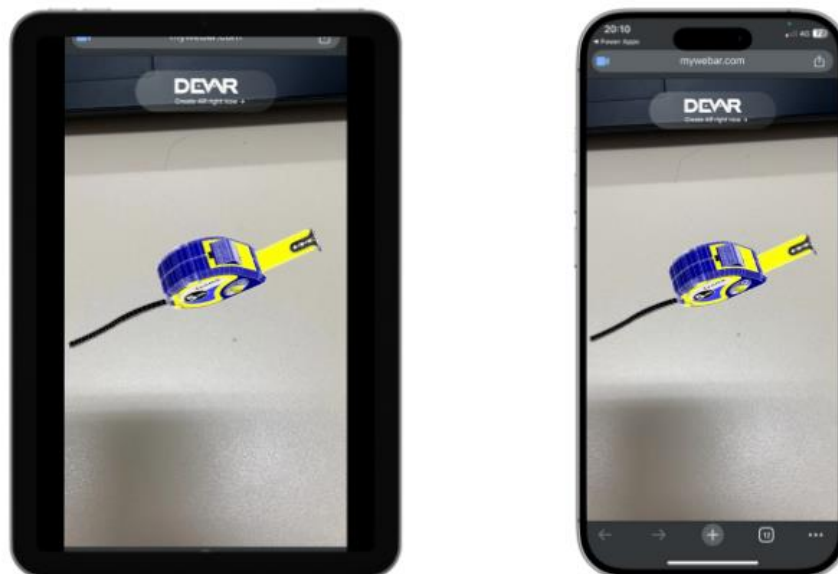


Figura 11 – Trena visualizada em Realidade Aumentada

Fonte: Autores (2025)

Na figura 12, pode ser visto os procedimentos de testes de cada material a ser inspecionado.



Figura 12 – Procedimentos testes

Fonte: Autores (2025)

4.4 Demonstração do Projeto

Foi realizada uma reunião com cinco especialistas do setor, com o objetivo de apresentar e demonstrar o funcionamento do projeto, destacando suas principais funcionalidades e aplicabilidades no contexto das atividades operacionais. A demonstração teve como finalidade validar a usabilidade da ferramenta desenvolvida, avaliar sua eficiência prática e identificar possíveis melhorias para otimização do seu desempenho.

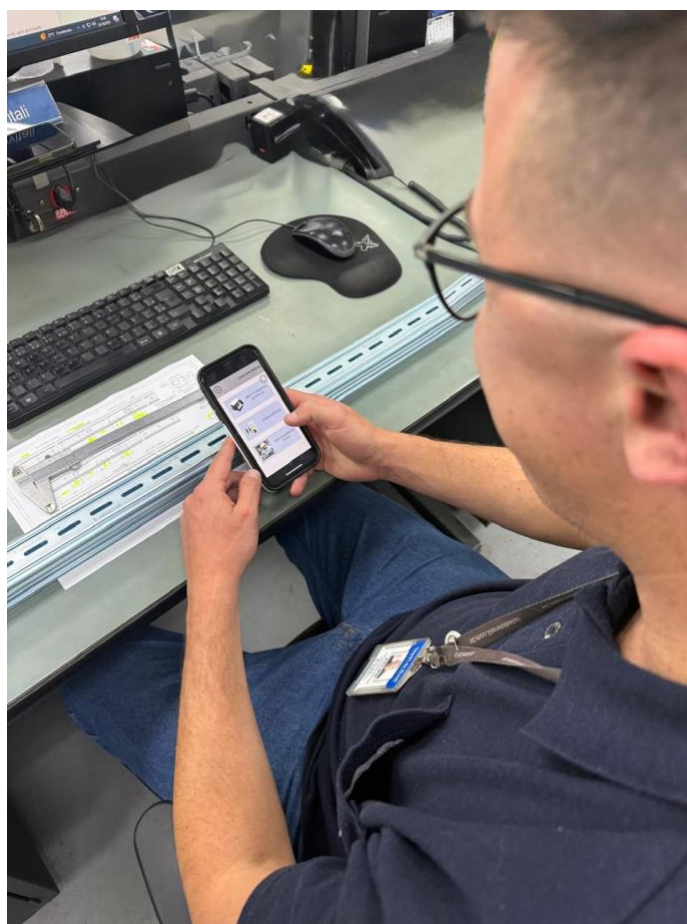


Figura 12 - Demonstração do aplicativo para os especialistas

Fonte: Autores (2025)

4.5 Avaliação do projeto

Após a reunião inicial e o período de utilização do aplicativo pelos colaboradores, durante quatro semanas, foi realizado um estudo comparando os tempos de inspeção com e sem o uso da ferramenta. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos, mostrando uma redução considerável no tempo médio das inspeções em todos os setores analisados.

Tabela 1 - Comparação de resultados entre a realização do método de inspeção sem o uso do aplicativo e com o aplicativo

Métodos de inspeção	Agronegócio	Convencional	Ferrovária	Rodoviária
Sem o aplicativo	30 min	20 min	50 min	45 min
Com o aplicativo	22 min	15 min	36 min	33 min

Fonte: Autores (2025)

Com base nos dados, o uso do aplicativo resultou em um ganho médio de cerca de 26,6% no tempo de execução das atividades. O maior ganho foi observado no setor ferroviário, com 28% de redução, seguido pelos setores agronegócio e rodoviário, ambos com 26,7%, e o convencional, com 25%. Esses resultados indicam que a ferramenta contribuiu de forma prática para tornar o processo de inspeção mais ágil e eficiente.

Após a análise comparativa dos tempos de inspeção, foi aplicado um questionário estruturado aos colaboradores que utilizaram o aplicativo, com o objetivo de compreender suas percepções sobre o uso da ferramenta no cotidiano de trabalho.

O questionário buscou avaliar aspectos relacionados à facilidade de uso, eficiência, adaptação e impacto do aplicativo nas rotinas operacionais. As respostas permitiram identificar o nível de aceitação da tecnologia entre os usuários, além de fornecer subsídios para futuros aprimoramentos do sistema.

Para a análise, foi utilizada uma escala do tipo Likert, variando de 1 (insatisfeito) a 5 (excelente), possibilitando mensurar o grau de concordância dos participantes em relação às afirmações apresentadas. As perguntas foram formuladas conforme apresentado a seguir:

Questão 1 – Q1 - O aplicativo foi bem integrado às rotinas operacionais do setor, demonstrando aplicabilidade prática e coerência com os processos existentes.

Questão 2 – Q2 - O uso do aplicativo reduziu o tempo total das inspeções e aumentou a eficiência dos operadores.

Questão 3 – Q3 - A digitalização dos procedimentos de inspeção contribuiu para reduzir erros humanos e retrabalhos.

Questão 4 – Q4 - A interface do aplicativo é intuitiva, de fácil navegação e adequada ao perfil dos usuários.

Questão 5 – Q5 - As informações apresentadas no aplicativo são claras, completas e relevantes para a tomada de decisão durante a inspeção.

Questão 6 – Q6 - O uso da Realidade Aumentada (RA) e de modelos tridimensionais facilitou a identificação e análise visual dos materiais.

Questão 7 – Q7 - O aplicativo contribuiu para o aprendizado de novos colaboradores, especialmente estagiários e aprendizes, tornando o processo de capacitação mais eficiente.

Questão 8 – Q8 - A implementação do aplicativo representa um avanço tecnológico que agrega valor à indústria e ao ambiente de trabalho.

Uma questão aberta foi aplicada aos especialistas contendo o seguinte questionamento:

Questão 9 – Q9 - Como você avalia o impacto geral do aplicativo sobre as práticas de inspeção e o ambiente de trabalho?

O projeto foi aplicado a 6 especialistas, sendo identificados pela letra “E” no projeto e na tabela de respostas referente ao questionário de validação, do setor de engenharia da qualidade da respectiva empresa do segmento de manufatura de balanças pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados abordados pelos especialistas

Nome	Q1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Q 7	Q 8	Q 9
E 1	5	5	5	5	5	5	5	5	Facilita muito na hora da inspeção
E 2	4	4	5	5	4	5	5	4	Bom
E 3	5	5	4	5	5	5	4	5	O aplicativo é de fácil acesso e prático para busca de informações no cotidiano.
E 4	5	5	5	5	4	4	5	5	Excelente, otimizará bastante nosso tempo de inspeção.
E 5	5	5	5	5	5	5	5	5	Muito bom, irá reduzir o tempo de inspeção e treinamento dos novos colaboradores.
E 6	5	5	5	5	5	5	5	5	Muito boa otimizou o tempo do setor.

Fonte: Autores (2025)

A comparação entre operadores experientes e novos colaboradores mostrou que, sem o aplicativo, havia uma diferença significativa no tempo e na segurança das inspeções. Com a RA, essa distância diminuiu, pois as instruções visuais reduziram dúvidas frequentes entre os iniciantes e diminuíram a necessidade de suporte constante dos profissionais mais experientes.

A aplicação da solução tecnológica, que utiliza Realidade Aumentada foi decisiva para resolver os problemas de eficiência identificados nos processos de inspeção. A digitalização das informações e a automação dos roteiros de inspeção garantiram acesso imediato a dados sobre os instrumentos e o processo de verificação, sendo considerada uma boa descrição da solução e protótipo.

A integração do aplicativo com o sistema de gestão de qualidade é um fator que contribui para otimizar o processo, minimizando o risco de erro humano e aumentando a consistência das inspeções, em total alinhamento com os princípios da Indústria 4.0.

6. Conclusão

A transformação digital e a adoção de tecnologias como a Realidade Aumentada têm se mostrado caminhos viáveis para aprimorar a inspeção de qualidade, sobretudo em setores que demandam alta precisão, como a fabricação de balanças. Conforme discutido na revisão da literatura, a automação, a análise preditiva e o uso de dados em tempo real contribuem para tornar os processos industriais mais confiáveis e eficientes (GÓMEZ; TORRES, 2024; ZARO; WEBBER, 2022). Nesse cenário, a substituição de tarefas manuais por soluções digitais melhora a eficiência e reduz erros, trazendo mais agilidade e controle às etapas produtivas, em sintonia com os princípios da Indústria 4.0.

A aplicação da Realidade Aumentada (RA) nos processos de inspeção e, principalmente, nos treinamentos, mostrou-se uma alternativa prática para apoiar o desenvolvimento de habilidades e a padronização de procedimentos. Estudos anteriores já apontavam esse potencial, destacando o papel da RA na redução de falhas e na melhoria da aprendizagem (ALVES et al., 2020; LOPES et al., 2022). No caso analisado, o uso de um aplicativo móvel com RA ajudou a reduzir o tempo necessário para que novos colaboradores alcançassem autonomia operacional e permitiu que os profissionais mais experientes direcionassem seu tempo a atividades de maior complexidade.

A solução desenvolvida também contribuiu para tornar o material de treinamento mais acessível e uniforme, além de facilitar o acompanhamento das inspeções. O acesso rápido a dados e instruções visuais sobrepostas reduziu falhas operacionais e tornou as inspeções mais consistentes, resultado alinhado à literatura sobre integração de dados e gestão digital da qualidade (ARAÚJO et al., 2024; AZAMBUJA; ALMEIDA, 2021).

Os resultados obtidos reforçam a adequação do método Design Science Research (DSR), utilizado para estruturar e validar a proposta. O desenvolvimento do artefato tecnológico, voltado à melhoria de processos e capacitação, mostrou que a inovação pode ser aplicada de forma gradual e efetiva quando orientada por necessidades reais. Nesse sentido, a combinação entre conformidade normativa — como as normas ABNT ISO — e inovação tecnológica, representada pela Realidade Aumentada, contribui para fortalecer a gestão da qualidade e ampliar a competitividade das empresas no contexto da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

GÓMEZ, R.; TORRES, A. Automatización y transformación digital en los procesos industriales: un enfoque de eficiencia y control de calidad. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, Sete Lagoas, MG, v. 17, n. 1, p. 122–136, 2024. DOI: 10.55905/revconv.16n.12-270.

ARAÚJO, L. F. L.; GUIMARÃES, G. E.; MARINELLI FILHO, N.; SCHMIDT, F. C.; CORREA, G. N. *Kanban eletrônico com inteligência artificial: desenvolvimento e implementação de uma solução para transformação digital e otimização produtiva em uma indústria de fitas do PIM. ARACÊ*, v. 6, n. 4, p. 15311-15326, 2024. DOI: 10.56238/arev6n4-252.

SUNDARAM, S.; ZEID, A. *Artificial Intelligence-Based Smart Quality Inspection for Manufacturing. Micromachines*, v. 14, n. 3, p. 570, 2023. DOI: 10.3390/mi14030570

ZARO, E. M.; WEBBER, C. G. *Estudo de caso de desenvolvimento de sistema para manutenção preditiva 4.0. Revista Produção Online*, v. 22, n. 3, p. 3418–3340, 2022. DOI: 10.14488/1676-1901.v22i3.4557

SEELIGER, C.; VELAZQUEZ, R.; STIEF, P.; GENTNER, A. *Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors. Computer in Industry*, v. 152, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103135>.

GÉLIO, Lucas Gomes; GIOCONDO CÉSAR, Francisco Ignácio. *Utilização da realidade aumentada na manutenção industrial. Revista Científica ACERTTE*, v. n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47820/acertte.v2i2.62>.

ALVES, J. B.; MARQUES, B.; DIAS, P.; SANTOS, B. S. *Using augmented reality for industrial quality assurance: a shop floor user study. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 115, p. 105-116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07049-8>.

LOPES, P. F.; ZAIDAN, F. H.; BRAGA, J. L.; MENDONÇA, F. M. *Experimento de realidade aumentada para capacitação profissional. Revista Gestão & Tecnologia*, v. 22, n. 1, p. 216-247, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2022.v22i1.2172>.

ZARO, Eduardo Márcio; WEBBER, Carine Getrudes. *Estudo de caso de desenvolvimento de sistema para manutenção preditiva 4.0*. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 22, n. 3, e4557, 2022. DOI: 10.14488/1676-1901.v22i3.4557. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i3.4557>.

AZAMBUJA, Antonio João G.; ALMEIDA, Vilson Rosa. *A bibliometric study of Cybersecurity in Industry 4.0 publications*. Research, Society and Development, Itajubá, v. 10, n. 3, e31910312937, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.12937.

OLIVEIRA, L. W. de; OLIVEIRA, S. S. de; VIEIRA, M. A.; SANTOS, S. de L. V. dos; CARVALHO, S. T. de. *Design Science Research: Balancing Science and Art in Building a Game Applied to Health*. Journal on Interactive Systems, v. 13, n. 1, p. 127-138, 2022. DOI: 10.5753/jis.2022.2682.

SILVA, André Roberto da; MEDEIROS JÚNIOR, José Sérgio; BALDO, Rafael Luiz. *Monitoramento imersivo: uso da realidade aumentada para visualização contextual de sinais em tempo real de máquinas industriais*. Revista Científica SENAI-SP – Educação, Tecnologia e Inovação, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-6, ago./out. 2024. DOI: 10.62899/rcs.v3i1.103.

LOPES, Pablo Fernando; ZAIDAN, Fernando Haddad; BRAGA, José Luis; MENDONÇA, Fabrício Martins. *Experimento de realidade aumentada para capacitação profissional*. Revista Gestão & Tecnologia, Pedro Leopoldo, v. 22, n. 1, p. 216-247, 2022. DOI: 10.20397/2177-6652/2022.v22i1.2172.