

AUGMENTED REALITY APPLICATION TO AUXILIATE APPLY TORQUE IN MOTORCYCLE MAINTENANCE

BRUNO LEITE DO NASCIMENTO DA SILVA
ANDRÉ LUIZ GONÇALVES MOREIRA BENTO
MICHEL CAROLINO GUARDIANO LEMES
WILLIAM APARECIDO CELESTINO LOPES

AUGMENTED REALITY APPLICATION TO AUXILIATE APPLY TORQUE IN MOTORCYCLE MAINTENANCE

APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA PARA AUXILIAR NA APLICAÇÃO DE TORQUE EM MANUTENÇÕES DE MOTOCICLETAS

BRUNO LEITE DO NASCIMENTO DA SILVA

<https://orcid.org/0009-0000-2811-6468/> bruno7bsn@gmail.com

FATEC - São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

ANDRÉ LUIZ GONÇALVES MOREIRA BENTO

<https://orcid.org/0009-0006-2373-683X/> a.l.goncalves@ufsc.br

FATEC - São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

MICHEL CAROLINO GUARDIANO LEMES

<https://orcid.org/0009-0007-1604-2562/> michel.lemes@fatec.sp.gov.br

FATEC - São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

WILLIAM APARECIDO CELESTINO LOPES

<https://orcid.org/0009-0009-4437-776X/> wilnatelha@gmail.com

FATEC - São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

Recebido em: 26/06/2025

Aprovado em: 28/12/2025

Publicado em: 28/12/2025



RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um aplicativo móvel de realidade aumentada (RA) denominado ABM TORQZ voltado para a manutenção de motocicletas, com foco na melhoria do acesso às informações técnicas durante o processo. Utilizando visão computacional integrada à plataforma Vuforia e ambiente Unity, o sistema reconhece componentes por meio de imagens e exibe dados técnicos, como torque recomendado e sequências de montagem, diretamente na interface do smartphone. A validação foi realizada com especialistas do setor de motocicletas, que atribuíram nota média de 9,1 ao aplicativo, destacando a precisão, usabilidade e ganho de produtividade. A proposta contribui para a redução de erros e otimização do tempo alinhando-se às tendências de digitalização e automação na indústria de motocicletas. O estudo discute a integração da RA com outras tecnologias evidenciando seu potencial para transformar práticas tradicionais no contexto da transformação digital no cenário automotivo.

Palavras-chave: aplicação de torque; aplicativo móvel; manutenção assistida; manutenção de motocicletas; realidade aumentada.

ABSTRACT

This paper presents the development and evaluation of an augmented reality (AR) mobile application called ABM TORQZ, aimed at motorcycle maintenance, with a focus on improving access to technical information during the process. Using computer vision integrated with the Vuforia platform and Unity environment, the system recognizes components through images and displays technical data, such as recommended torque and assembly sequences, directly on the smartphone interface. Validation was carried out with experts from the motorcycle industry, who gave the application an average score of 9.1, highlighting its accuracy, usability, and productivity gains. The proposal contributes to reducing errors and optimizing the time in maintenance operations, aligning with digitalization and automation trends in the motorcycle industry. The study discusses the integration of AR with other technologies, highlighting its potential to transform traditional practices in the context of digital transformation in the automotive scenario.

Keywords: assisted maintenance; augmented reality; mobile application; motorcycle maintenance; torque application.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios na manutenção automotiva está relacionado à identificação adequada do torque para as juntas aparafusadas. Esse problema se agrava devido à vasta diversidade de modelos, marcas e categorias de veículos, cada um com inúmeros tipos de porcas e parafusos que exigem diferentes especificações de torque, frequentemente distribuídas em manuais técnicos extensos e complexos (ARIFITAMA et al., 2022).

Com o avanço das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, a realidade aumentada (RA) surge como uma solução promissora para auxiliar no processo de manutenção, agilizando o processo por meio da identificação automática dos componentes e da exibição das especificações técnicas correspondentes. O aprimoramento contínuo na qualidade da comunicação e na velocidade de interação entre dispositivos móveis permite que novas aplicações de RA promovam uma maior integração entre o ambiente virtual e o mundo real (XIONG, 2021). No contexto da manutenção automotiva, a RA apresenta grande potencial tanto para o treinamento de profissionais inexperientes quanto para o auxílio na identificação correta das peças (MALTA et al., 2021).

O estudo foi conduzido por meio de análise do setor manutenção de motocicletas, seguindo o método científico Design Science Research (DSR), um método dividido em 5 etapas sequenciais que se concentra no desenvolvimento de soluções inovadoras e úteis para problemas reais e orienta sistematicamente o processo de criação e validação do artefato tecnológico, assegurando rigor científico aliado à aplicabilidade prática.

Com base nos problemas identificados no setor analisado, o objetivo deste estudo é desenvolver um aplicativo de realidade aumentada para dispositivos móveis que possibilite a identificação dos componentes e a apresentação das características técnicas relevantes, como o torque específico necessário para cada porca e parafuso, a partir do reconhecimento visual realizado pela câmera do dispositivo. Auxiliando no acesso às informações técnicas necessárias para realizar manutenção de motocicletas. Contribuindo para o aumento da produtividade e padronização do processo de aplicação de torque (CROCCOLO et al., 2023).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Realidade aumentada (RA) e visão computacional (VC)

A Visão Computacional (VC) é um campo da ciência computacional dedicado ao desenvolvimento de sistemas capazes de identificar e interpretar informações presentes em imagens e vídeos. Esses sistemas processam imagens capturadas, comparando-as com dados armazenados em bancos de informações, permitindo que máquinas reconheçam objetos e forneçam respostas conforme as necessidades do usuário. Por exemplo, um dispositivo móvel pode escanear um objeto e, por meio da VC, apresentar informações relevantes sobre ele (VELESACA et al., 2021).

As aplicações da visão computacional têm se expandido continuamente, abrangendo diversas áreas. Uma aplicação destacada é a realidade aumentada, que combina elementos virtuais com o ambiente físico em tempo real. Essa integração enriquece a experiência do usuário ao oferecer dados interativos por meio de dispositivos como smartphones e tablets, ampliando as possibilidades de interação com o ambiente (POONJA et al., 2023).

A realidade aumentada, cuja origem conceitual remonta à década de 1990, continua em desenvolvimento e aprimoramento constante. Trata-se de uma tecnologia que requer um dispositivo intermediário como smartphones, tablets ou óculos específicos que funcione como interface entre o usuário e o ambiente real, permitindo a sobreposição de conteúdos digitais nesse contexto (ARENA et al., 2022).

No campo da identificação visual e tomada de decisão em ambientes não controlados, a realidade aumentada (RA) tem se mostrado uma ferramenta eficaz também no setor agroindustrial. Lopes et al. (2024) demonstraram a aplicabilidade da RA por meio do desenvolvimento do aplicativo ARomaticLens, voltado à identificação de ervas aromáticas em ambientes complexos como o CEAGESP, um dos maiores entrepostos alimentares da América Latina, utilizando a metodologia Design Science Research (DSR).

No entanto, a implementação da RA ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no campo educacional. Entre as principais barreiras estão os custos elevados dos equipamentos e dos softwares necessários para a criação e manutenção das experiências imersivas, que demandam atualizações constantes e, consequentemente, investimentos adicionais. Outro fator limitante é a acessibilidade, uma vez que nem todos os usuários dispõem do hardware adequado, exigindo que instituições promovam recursos compartilhados para garantir o uso coletivo (AL-ANSI et al., 2023).

De acordo com Xiong et al. (2021), a RA é atualmente vista como uma tecnologia com alto potencial transformador, capaz de modificar substancialmente a interação humana com o mundo digital. Contudo, essa expectativa traz consigo desafios para a engenharia, que precisa desenvolver equipamentos usáveis no cotidiano. Novas tecnologias emergentes apresentam contribuições significativas para a engenharia de fabricação desses dispositivos, possibilitando melhorias no desempenho e maior viabilidade para a adoção futura.

2.2 Tecnologias integradas à manutenção de motocicletas

Com o aumento da utilização de motocicletas, a adoção de rotinas de manutenção preventiva e corretiva tem se mostrado fundamental para garantir a eficiência operacional e prolongar a vida útil dos veículos (MARIT; NURSANTI; VITASARI, 2020). Essas práticas são essenciais para mitigar falhas e otimizar o desempenho mecânico.

Uma das abordagens para o controle de torque na indústria automotiva, especialmente em veículos elétricos, é a técnica FL-DTC (*Fuzzy Logic Direct Torque Control*). Essa metodologia combina o controle direto de torque com a lógica fuzzy, um método de inteligência artificial que aprimora a tomada de decisão em sistemas dinâmicos. O FL-DTC tem demonstrado capacidade para reduzir oscilações de torque e fluxo, além de minimizar ruídos e vibrações, resultando em

respostas dinâmicas mais estáveis e precisas frente a variações paramétricas (CHANTOUFI et al., 2025).

No contexto das motocicletas, a aplicação de simulações interativas permite o ajuste fino de componentes como suspensão e direção por meio da análise das vibrações. As principais variáveis de interesse incluem a vibração de tecelagem e a oscilação de estabilidade, ambas influenciadas diretamente pelo torque aplicado. Essas análises podem ser integradas a ferramentas de realidade aumentada, possibilitando suporte técnico aprimorado durante a manutenção automotiva (BOVA; MASSARO, 2021).

Entre as tecnologias com potencial para inovação na manutenção de motocicletas, destaca-se o sistema ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). Essa abordagem utiliza inteligência artificial para diagnosticar falhas por meio da identificação de sons emitidos pelo motor, oferecendo maior precisão na detecção e facilitando intervenções posteriores (ARIFIN et al., 2020). Estudos baseados em estatística descritiva indicam que a reprogramação das unidades de controle eletrônico (UCE) pode elevar em até 80% o desempenho do torque em motocicletas, sinalizando uma oportunidade relevante para otimização do controle de torque e desempenho do veículo (KAMIL; SOEHARWINTO; FACHRIZAL, 2021).

Essas tecnologias integradas contribuem para o desenvolvimento de soluções avançadas que podem ser incorporadas em sistemas de realidade aumentada para manutenção, como proposto no presente estudo, com o objetivo de melhorar a eficiência das manutenções de motocicletas, auxiliando no acesso às informações técnicas necessárias para a realização desses procedimentos.

2.3 Perspectiva atual e futura sobre o uso de RA em manutenções

No contexto da manutenção automotiva, a realidade aumentada (RA) tem se destacado como uma ferramenta promissora tanto para o treinamento de profissionais iniciantes quanto para o suporte a técnicos experientes. A capacidade da RA em identificar e reconhecer componentes possibilita treinamentos interativos, facilitando a compreensão de novos produtos e tecnologias para usuários com menor familiaridade, enquanto auxilia profissionais experientes na execução de

reparos, promovendo a correta manipulação de equipamentos por meio da sobreposição de informações digitais (MALTA; MENDES; FARINHA, 2021).

No campo das aplicações móveis voltadas à identificação de elementos visuais em ambientes comerciais complexos, a realidade aumentada (RA) tem mostrado alto potencial de aplicabilidade. Fernandes et al. (2023) desenvolveram uma arquitetura baseada em RA e visão computacional para identificar ervas aromáticas em meio à grande variedade morfológica. A rápida detecção e a confiabilidade dos dados oferecidos destacam como soluções baseadas em RA podem ser escaladas para outros setores que exigem tomada de decisão precisa em ambientes dinâmicos como a manutenção de motocicletas, fornecendo informações técnicas diretamente sobre os componentes físicos.

Em termos de evolução tecnológica, a integração da RA com a Internet das Coisas (IoT) e plataformas de computação em nuvem tem ampliado as possibilidades de aplicação, viabilizando interações remotas, assistência técnica em tempo real e monitoramento contínuo de equipamentos, o que contribui para a otimização dos processos de manutenção (VOINEA et al., 2023).

Paralelamente, o desenvolvimento de dispositivos dedicados à RA tem buscado superar as limitações dos equipamentos tradicionais, que costumam ser volumosos e pouco ergonômicos. Novos dispositivos vestíveis, como os óculos inteligentes do tipo Ray-Ban Stories, apresentam maior fluidez e facilidade de uso. Contudo, essas tecnologias ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento e apresentam funcionalidades básicas, insuficientes para atender integralmente às demandas específicas das atividades de manutenção automotiva (ARENA et al., 2022).

Essa perspectiva aponta para um cenário de crescimento e aprimoramento da RA, especialmente quando integrada a outras tecnologias digitais, reforçando seu potencial para transformar as práticas de manutenção no setor automotivo.

3. METODOLOGIA

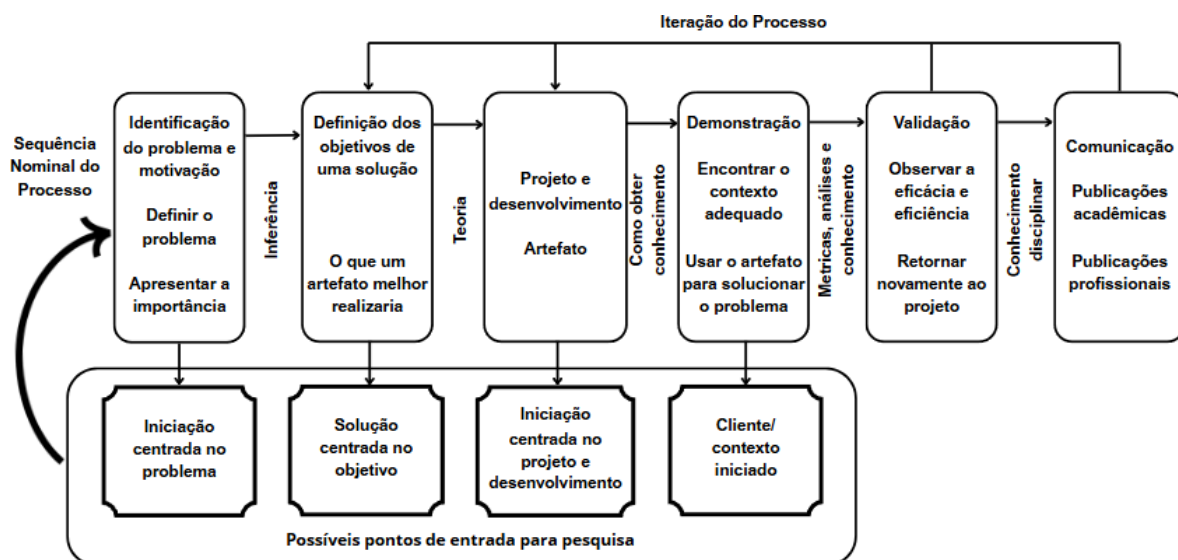
3.1 Design science research (DSR)

O Design Science Research (DSR) constitui um método de pesquisa reconhecido pela criação e desenvolvimento de artefatos tecnológicos e metodológicos destinados a resolver

problemas práticos identificados em contextos reais (JOHANNESSON; PERJONS, 2014). Neste estudo, o DSR é adotado para o desenvolvimento do aplicativo móvel de realidade aumentada, com o objetivo de auxiliar na correta aplicação do torque em manutenções de motocicletas, enfrentando o desafio de identificar e aplicar o torque adequado nas juntas aparafusadas.

Essa abordagem metodológica concentra-se no desenvolvimento de soluções inovadoras e úteis para problemas reais, organizando-se em cinco etapas sequenciais e estruturadas, conforme descrito por (GERBER; BASKERVILLE, 2023). As fases do DSR orientam sistematicamente o processo de criação e validação do artefato tecnológico, assegurando rigor científico aliado à aplicabilidade prática, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Etapas do Design Science Research (DSR)



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007)

Conforme ilustrado na Figura 1, a primeira etapa consiste na identificação e compreensão do problema, que neste caso envolve o desafio de acessar as informações de torque durante a manutenção de motocicletas, problema com impacto de tempo e financeiro (CROCCOLO et al., 2023). A segunda fase define os requisitos do aplicativo, incluindo funcionalidades para

reconhecimento de componentes via câmera do dispositivo móvel e apresentação interativa dos valores de torque recomendados para cada peça.

Na terceira etapa, ocorre o projeto e desenvolvimento do aplicativo, utilizando ferramentas de desenvolvimento mobile e tecnologias de realidade aumentada, alinhando o produto às necessidades especificadas. A quarta etapa contempla a demonstração do artefato em cenários práticos, por meio de testes em ambiente controlado com usuários operadores de manutenção, para verificar usabilidade e precisão das informações apresentadas. Por fim, a quinta etapa corresponde à avaliação do aplicativo, na qual são analisados critérios como eficiência na aplicação correta do torque, redução de erros operacionais e satisfação dos usuários, confirmando a relevância e eficácia do artefato desenvolvido (JOHANNESON; PERJONS, 2014). Essa estrutura metodológica permite que o desenvolvimento do aplicativo seja orientado por evidências e feedbacks, promovendo melhorias contínuas e garantindo sua adequação para uso real em manutenções de motocicletas.

3.2 Identificação do problema

A análise inicial evidenciou que a aplicação incorreta do torque em porcas e parafusos durante manutenções automotivas compromete a integridade mecânica das motocicletas, ocasionando falhas que vão desde danos por aperto excessivo até soltura por torque insuficiente. Tais falhas podem resultar em acidentes graves, colocando em risco a segurança dos usuários.

A investigação das causas envolveu a observação de oficinas multimarcas, identificando como principais fatores a insuficiência de conhecimento técnico e treinamento dos mecânicos, dificuldades na localização das informações técnicas nos manuais devido à sua complexidade e extensão, a ausência do uso de torquímetros adequados e a desorganização do ambiente de trabalho. Além disso, durante as etapas iniciais do estudo, foram encontradas diversas dificuldades operacionais e técnicas ao se trabalhar com oficinas multimarcas, principalmente devido à grande variedade de modelos e especificidades técnicas de diferentes veículos. Essas dificuldades impactaram diretamente na coleta de dados confiáveis e na padronização dos procedimentos de análise.

Com o objetivo de superar esses obstáculos e garantir maior precisão e profundidade na pesquisa, o estudo foi verticalizado para focar exclusivamente em um único modelo, a motocicleta



TECNOLOGIAS PARA
COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL

AUGMENTED REALITY APPLICATION TO AUXILIATE APPLY TORQUE IN MOTORCYCLE MAINTENANCE

BRUNO LEITE DO NASCIMENTO DA SILVA
ANDRÉ LUIZ GONÇALVES MOREIRA BENTO
MICHEL CAROLINO GUARDIANO LEMES
WILLIAM APARECIDO CELESTINO LOPES

Kawasaki Ninja 400 2020. A escolha desse modelo se deu pela sua relevância no mercado, pela disponibilidade de dados técnicos e pela complexidade adequada para a aplicação das técnicas investigadas. O modelo estudado pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Kawasaki Ninja 400 2020



Fonte: Autores (2025)

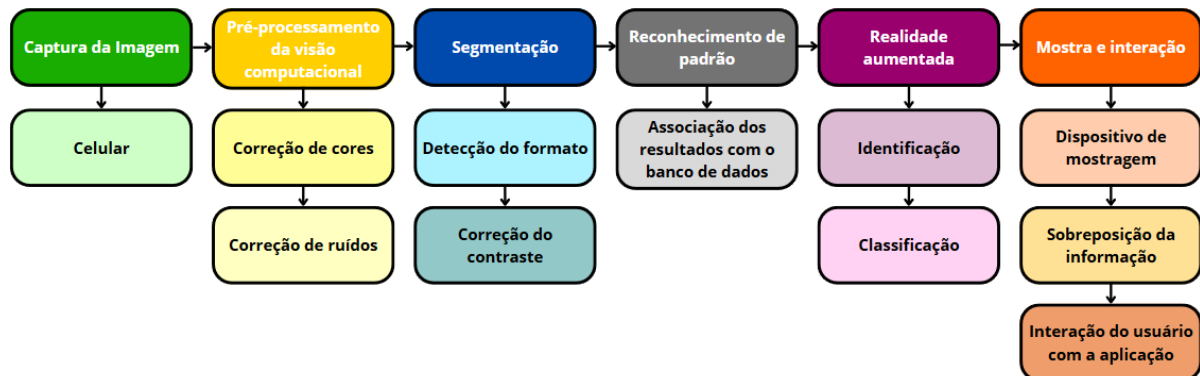
Os manuais técnicos da linha Kawasaki Ninja possuem muitas páginas como a versão 300 cilindradas com 653 páginas e a de 400 cilindradas com 617 páginas detalham exaustivamente os valores de torque recomendados para cada parafuso e porca. Essa complexidade dificulta a realização da manutenção dentro de um tempo pré-estabelecido, impactando o planejamento e a padronização dos serviços.

3.3 Proposta da solução

A partir da identificação do problema, desenvolveu-se a proposta de um aplicativo móvel de RA destinado a facilitar o acesso às informações técnicas durante o processo de manutenção.

O aplicativo visa suprir a dificuldade em localizar o torque específico para cada componente, exibindo diretamente na tela do smartphone, a partir do escaneamento do componente pela câmera, informações técnicas sobre os parafusos e porcas escaneados, em formato visual interativo. Além do torque, o aplicativo disponibiliza desenhos técnicos, sequência de montagem, informações sobre EPIs e a importância do uso do torquímetro, contribuindo para maior eficiência no procedimento. A estrutura do projeto pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura de funcionamento do artefato tecnológico



Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2024)

3.4 Desenvolvimento do projeto

O projeto foi desenvolvido em etapas estruturadas, com o objetivo de implementar uma aplicação móvel de realidade aumentada (RA) voltada ao suporte técnico em processos de manutenção de motocicletas. A primeira etapa consistiu na criação de um banco de imagens, utilizando o software Vuforia Engine 11.2. Foram capturadas imagens em formato JPG dos principais componentes da motocicleta, que serviram como base para o reconhecimento visual necessário à exibição dos dados técnicos no ambiente de RA, as imagens classificadas pela visão computacional podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Banco de dados do *Vuforia Engine* com base em visão computacional

Targets (93)						
Add Target		Download Database (All)				
☐	Image	Target Name	Type	Rating ①	Status ▾	Date Modified
☐		porca_traseira3	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025
☐		porca_traseira2	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025
☐		porca_traseira1	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025
☐		pinca_de_freio3	Image	★★★★★	Active	Jun 09, 2025
☐		pinca_de_freio2	Image	★★★★★	Active	Jun 09, 2025
☐		pinca_de_freio1	Image	★★★★★	Active	Jun 09, 2025
☐		porca_dianteira3	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025
☐		porca_dianteira2	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025
☐		porca_dianteira1	Image	★★★★☆	Active	Jun 09, 2025

Fonte: Autores (2025)

A seguir, iniciou-se o desenvolvimento do aplicativo no software Unity 2022.3.13f1 integrando a biblioteca Vuforia e empregando a linguagem de programação C#. A aplicação foi configurada para funcionamento em dispositivos com sistema operacional Android, a partir da versão 8, assegurando compatibilidade com a maioria dos smartphones disponíveis no mercado.

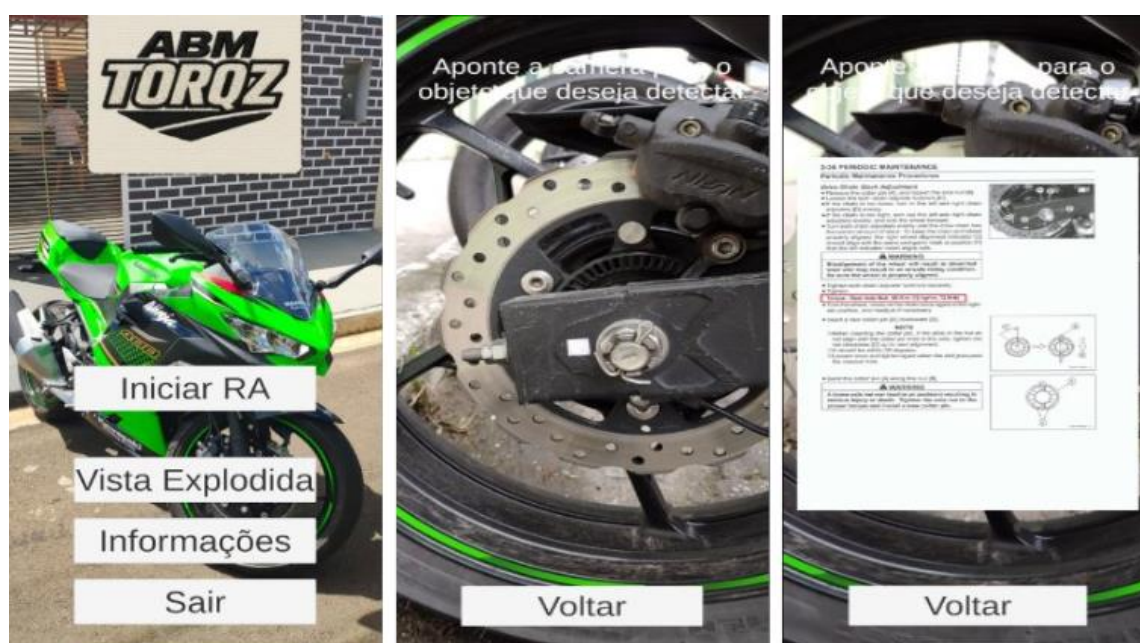
Com a base visual e o ambiente de desenvolvimento definidos, foram implementados os chamados “*image targets*”, que são alvos visuais utilizados para associar imagens reais a conteúdos digitais. Esses alvos permitem que, ao apontar a câmera do dispositivo para determinado componente da motocicleta, informações técnicas específicas sejam sobrepostas à imagem física em tempo real, criando uma interface interativa que facilita o acesso às instruções de manutenção.

Para complementar a funcionalidade do sistema, trechos selecionados dos manuais técnicos foram convertidos em imagens e integrados ao aplicativo. A escolha por imagens estáticas se deve

à necessidade de garantir leveza e agilidade no processamento da informação, evitando sobrecarga do sistema. Esses conteúdos incluem dados como valores de torque recomendados, diagramas de montagem e orientações de segurança, permitindo que o usuário visualize essas informações diretamente no contexto da peça física, com auxílio da RA.

A estrutura do sistema, portanto, integra reconhecimento visual, processamento em tempo real e exibição de dados técnicos, buscando oferecer uma solução prática para a realização de manutenções com maior precisão e autonomia, especialmente em ambientes com baixa padronização de procedimentos, o resultado das etapas pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Interface da aplicação



Fonte: Autores (2025)

3.5 Demonstração do funcionamento

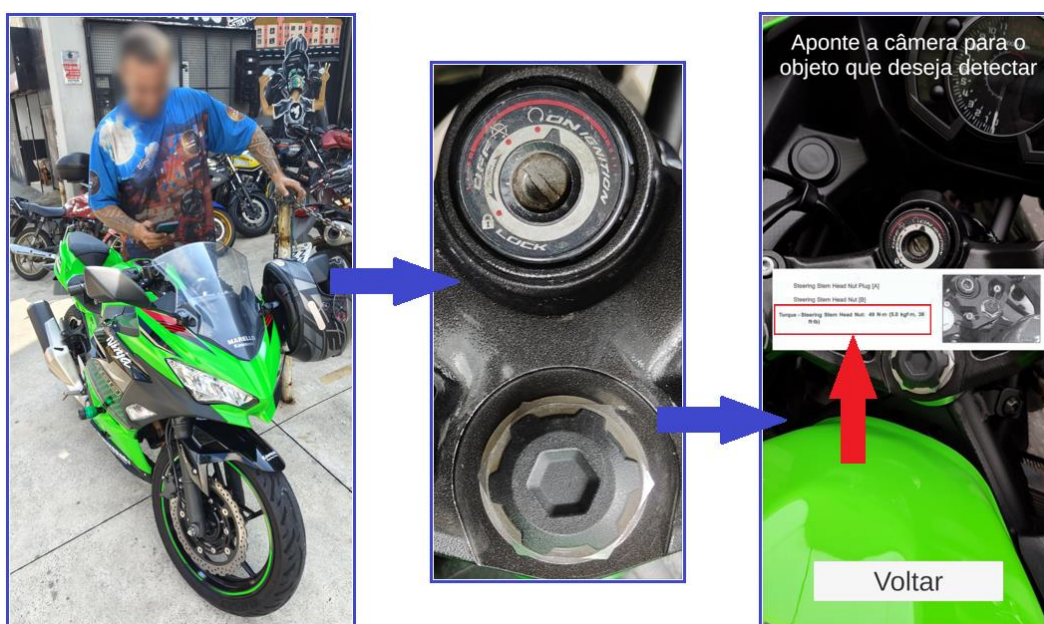
A aplicação desenvolvida foi instalada em um smartphone com sistema operacional Android 14 e testada utilizando como base a motocicleta Kawasaki Ninja 400 2020. O menu inicial do

aplicativo apresenta opções funcionais organizadas de forma a facilitar a navegação, incluindo os comandos para iniciar o modo de realidade aumentada, visualizar desenhos técnicos em formato explodido, acessar informações complementares e encerrar a aplicação.

Ao selecionar o modo de realidade aumentada, a câmera do dispositivo é ativada, permitindo o reconhecimento visual dos componentes físicos da motocicleta. A partir desse reconhecimento, o sistema projeta sobre os componentes detectados as informações técnicas relevantes, diretamente na tela do dispositivo móvel.

Durante os testes, foi possível verificar o funcionamento da aplicação ao identificar, por exemplo, a porca da caixa de direção. Nesse caso, o sistema exibiu a página correspondente do manual técnico em formato digital, indicando o valor de torque recomendado para o aperto adequado. A apresentação da informação diretamente sobre o item físico buscou facilitar a compreensão e aplicação correta dos parâmetros técnicos durante a manutenção, podendo ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Especialista verificando o funcionamento do aplicativo



Fonte: Autores (2025)

3.6 Avaliação e validação do funcionamento

A validação do aplicativo foi conduzida por meio de entrevistas estruturadas com três profissionais atuantes no setor de manutenção automotiva, cada um com mais de seis anos de experiência prática em oficinas e comércio de peças. Após a realização do teste prático do aplicativo por cada um dos profissionais nas oficinas, foram submetidos a um questionário que investigou a percepção dos especialistas quanto à usabilidade, precisão técnica e aplicabilidade do sistema em condições reais de trabalho.

O questionário foi elaborado através do *Google Forms* com base em nove questões com o intuito de avaliar o aplicativo e suas funcionalidades. Na primeira questão, foram levantados dados à cerca dos entrevistados correspondentes ao ramo de atuação de suas empresas através da pergunta: "Qual é o ramo de atuação da empresa?". Na segunda questão, com intuito de dimensionar o porte das empresas, os participantes foram questionados sobre o número de colaboradores ativos em suas empresas por meio da seguinte pergunta: "Quantos colaboradores possui a empresa?". Na terceira questão, os respondentes foram indagados sobre o tempo de exercícios em suas respectivas funções por meio da seguinte pergunta: "Quanto tempo o profissional questionado possui de experiência na área?". Na quarta questão, os participantes foram perguntados sobre a facilidade de uso e navegação da interface do aplicativo por meio da pergunta: "Em uma escala de 1 a 5, quão intuitiva é a interface do aplicativo?". Na quinta questão, os entrevistados foram questionados sobre a precisão na identificação de diferentes componentes escaneados através da seguinte pergunta: "Em uma escala de 1 a 5, quão precisa é a identificação dos componentes escaneados?". Na sexta questão, os respondentes foram indagados com relação à confiabilidade das informações dispostas no aplicativo, considerando todo a experiência de uso através da pergunta: "As informações apresentadas no aplicativo são assertivas?". Na sétima questão, os participantes foram questionados sobre a capacidade do aplicativo em oferecer maior agilidade e produtividade ao processo de manutenção quando comparado aos métodos de consultas tradicionais por meio da seguinte pergunta: "O uso do aplicativo durante o teste proporcionou maior agilidade ao processo de manutenção? (tornou o processo mais rápido?)". Na oitava questão, os participantes foram questionados sobre a qualidade de uso do aplicativo quando exposto a fatores limitantes como mãos sujas de óleo ou graxa através da pergunta: "Em uma

escala de 1 a 5, considere o uso do aplicativo durante a realização dos serviços considerando possíveis fatores limitantes (mãos sujas de óleo ou graxa, uso de luvas etc)". Por fim, na nona questão, os respondentes foram questionados sobre qual seria o melhor método de consulta ao se considerar como principais pontos de importância a rapidez e a eficiência tendo que escolher entre o aplicativo de RA do projeto, manual convencional, manual digital e internet (*google, youtube*) através da seguinte pergunta: "Após o teste, na visão do colaborador, qual opção a melhor opção para consultar resultados de forma rápida e precisa?".

Os resultados demonstraram aceitação expressiva por parte dos avaliadores. Todos os entrevistados atribuíram a classificação máxima para os critérios de facilidade de uso e navegação, indicando uma interface funcional e de rápida assimilação. No quesito precisão na identificação dos componentes por meio da realidade aumentada, também foi registrada unanimidade apontando confiabilidade no sistema. As informações técnicas exibidas foram consideradas fidedignas por todos os participantes, evidenciando a aderência do conteúdo apresentado aos dados oficiais dos manuais de manutenção.

Dentre os nove questionários, podemos destacar, com relação ao impacto na produtividade, os especialistas relataram ganho significativo de agilidade quando comparado aos métodos convencionais de consulta. A aplicabilidade em ambientes de trabalho adversos, como em situações com presença de sujeira ou resíduos nas mãos, foi classificada como ótima por dois dos entrevistados (66,7%) e como boa por um (33,3%), revelando desempenho satisfatório mesmo em condições operacionais comuns no setor.

A preferência pela utilização do aplicativo em substituição à consulta direta em manuais digitais foi manifestada por 66,7% dos respondentes. Contudo, sugeriu-se o aprimoramento na velocidade de reconhecimento visual como fator potencial para elevar ainda mais a aceitação do sistema.

A avaliação do aplicativo por três especialistas do setor automotivo resultou em uma média de 9,1 em uma escala de 0 a 10. Os profissionais, com mais de seis anos de experiência em oficinas e comércio de peças, destacaram a facilidade de uso, a precisão na identificação dos componentes, a confiabilidade das informações técnicas e o aumento da produtividade como principais pontos positivos.

A média de 9,1 atribuída pelos especialistas ao aplicativo desenvolvido reforça sua aderência às demandas práticas do setor de manutenção automotiva. Os dados evidenciam a efetividade da realidade aumentada na redução do tempo de consulta a informações técnicas auxiliando no processo de manutenção, situação está alinhada com Xiong et al. (2021). Esses resultados estão em consonância com a literatura recente, como demonstrado por Malta, Mendes e Farinha (2021), que destacam o uso da RA como estratégia consolidada para suporte técnico e capacitação em ambientes industriais. A sugestão de aprimoramento no tempo de resposta do sistema revela a necessidade de ajustes contínuos para garantir desempenho satisfatório em condições de uso intensivo, reiterando a importância da validação prática como etapa essencial no ciclo de desenvolvimento de tecnologias assistivas, dificuldades estas citadas por Al-ansi et al. (2023).

4. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou o desenvolvimento e avaliação de um aplicativo móvel baseado em realidade aumentada (RA) voltado à manutenção de motocicletas, com foco em facilitar o acesso às informações técnicas necessárias para realização do processo. A partir da identificação de dificuldades operacionais em oficinas multimarcas, o projeto foi direcionado para o modelo específico Kawasaki Ninja 400 2020 a fim de garantir maior controle das variáveis e aprofundamento técnico.

O sistema proposto demonstrou alta usabilidade, precisão na identificação visual de componentes e confiabilidade na disponibilização de informações técnicas, conforme validado por especialistas do setor automotivo. O aplicativo evidencia sua relevância como ferramenta de apoio, tanto para profissionais experientes quanto para novos técnicos, contribuindo para a padronização e aumento da produtividade dos procedimentos de manutenção.

O estudo indicou otimização na velocidade do processo de manutenção, assim como melhoria na precisão da identificação de componentes e suas respectivas informações de manutenção por meio de um aparelho celular associado ao aplicativo de realidade aumentada desenvolvido neste projeto, facilitando o acesso as informações pertinentes ao processo de manutenção ainda que expostos as intempéries inerentes a atividade, atingindo os objetivos propostos no artigo. Como trabalho futuro, recomenda-se ampliar a base de dados do aplicativo

para outros modelos de veículos, melhorar a velocidade de reconhecimento visual e investigar o impacto da ferramenta em contextos educacionais e em diferentes níveis de capacitação técnica. O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos autores.

REFERÊNCIAS

- ARENA, F.; COLLOTTA, M.; PAU, G.; TERMINE, F. An Overview of Augmented Reality. *Computers*, v. 11, n. 2, p. 28, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- AL-ANSI, A. M.; JABOUB, M.; GARAD, A. AL-ANSI, A. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent developments in education. *Social Sciences & Humanities Open*, v. 8, n. 1, p. 100532, 1 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- ARIFIN, F.; HASANAH, N.; IRMAWATI, D.; ARIFIN, Z. Smart System for Diagnosing Motorcycle Damage Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Future Transportation. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 12 fev. 2020. Disponível em: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iceri-19/125934028>. Acesso em: 21 maio. 2025. DOI: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200204.008>
- ARIFITAMA, B.; ABDILLAH, Z.; SYAHPUTRA, A.; PERMANA, S.; YADDARABULLAH. A Mobile Augmented Reality Application for Automotive Sparepart Installation. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, v. 4, n. 3, p. 193–202, 25 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.62527/ijasce.4.3.97>
- BOVA, M.; MASSARO, M. A screw-axis approach to the stability of two-wheeled vehicles. *Applied Sciences*, v. 11, n. 16, p. 7393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167393>
- BUI, D. T.; BARNETT, T.; HOANG, H.; CHINTHAMMIT, W. Tele-mentoring using augmented reality technology in healthcare: A systematic review. *Australasian Journal of Educational Technology*, v. 37, n. 4, p. 68–88, 15 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.14742/ajet.6243>
- CHANTOUFI, A.; DEROUICH, A.; OUANJLI, N. E.; MAHFOUND, S.; IDRISSE, A. E. Improved direct torque control of doubly fed induction motor in electric vehicles using fuzzy logic controllers. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, v. 11, p. 100882, 1 mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100882>
- CROCCOLO, D.; DE AGOSTINIS, Massimiliano; FINI, Stefano; MELE, Mattia; OLMÍ, Jorge; SCAPECCHI, Chiara; TARIQ, Muhammad Hassaan Bin. Máquinas, v. 11, n. 2, p. 212, 2023.
- CROCCOLO, D.; AGOSTINIS, M.; FINI, S.; MELE, M.; OLMÍ, G.; SCAPECCHI, C.; TARIQ, M. H. B. Failure of Threaded Connections: A Literature Review. *Machines*, v. 11, n. 2, p. 212, fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11020212>
- FERNANDES, J. C. L.; OKANO, M. T.; LOPES, W. A. C.; ANTUNES, S. N.; VENDRAMETTO, O. An architecture to identify aromatic herbs using augmented reality (AR) and mobile application. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, v. 19, p. 1459–1467, 2023. DOI: [10.37394/232015.2023.19.132](https://doi.org/10.37394/232015.2023.19.132)

GERBER, A.; BASKERVILLE, R. (EDS.). Design Science Research for a New Society: Society 5.0. 18th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, DESRIST 2023, Pretoria, South Africa, May 31 – June 2, 2023, Proceedings. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. v. 1387.

JOHANNESSON, P.; PERJONS, E. Systems Development and the Method Framework for Design Science Research. Em: JOHANNESSON, P.; PERJONS, E. (Eds.). An Introduction to Design Science. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 157–165.

KAMIL, I.; SOEHARWINTO; FACHRIZAL, F. Re-programming Electronic Control Unit for Increase Torque and Power a Motorcycle. Journal of Physics: Conference Series, v. 1898, n. 1, p. 012011, jun. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1898/1/012011

LOPES, W. A. C.; FERNANDES, J. C. L.; ANTUNES, S. N.; FERNANDES, M. E.; NÄÄS, I. A.; VENDRAMETTO, O.; OKANO, M. T. Augmented Reality Applied to Identify Aromatic Herbs Using Mobile Devices. AgriEngineering, Basel: MDPI, v. 6, n. 3, p. 2824–2844, 13 ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030164>

MALTA, A; MENDES, M; FARINHA, T. Augmented Reality Maintenance Assistant Using YOLOv5. Applied Sciences, v. 11, n. 11, p. 4758, 2021. DOI: 10.3390/app11114758.

MARIT, I. Y.; NURSANTI, E.; VITASARI, P. Analysis of time acceleration using Critical Path Method (CPM) to increase motorcycle maintenance in authorized service station. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 885, n. 1, p. 012059, jul. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/885/1/012059

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Information Systems, v. 24, n. 3, p. 45–77, 1 dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

POONJA, H. A.; SHIRAZI, M. A.; KHAN, M. J.; JAVED, K. Engagement detection and enhancement for STEM education through computer vision, augmented reality, and haptics. Image and Vision Computing, v. 136, p. 104720, 1 ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2023.104720>

VELESACA, H. O.; SUÁRES, P. L.; MIRA, R.; SAPPÀ, A. D. Computer vision based food grain classification: A comprehensive survey. Computers and Electronics in Agriculture, v. 187, p. 106287, 1 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106287>

VOINEA, G.-D.; GÎSBACIA, F.; DUGULEANA, M.; BOBOC, R. G.; GHEORGHE, C. Mapping the Emergent Trends in Industrial Augmented Reality. Electronics, v. 12, n. 7, p. 1719, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12071719>

XIONG, J.; HSIANG, E.; HE, Z.; ZHAN, T.; WU, S. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives. Light: Science & Applications, v. 10, art. 216, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00658-8>