

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA GEORREFERENCIADA PARA MONITORAMENTO DO TRÁFEGO MARÍTIMO E PORTUÁRIO

Development of a georeferenced augmented reality system for maritime and port traffic monitoring

Leandro Aparecido Simal Moreira¹ , André Ribeiro Breitingner² ,
Rodrigo da Silva Vieira³ , Antônio Luiz Carlucio Doneda⁴ ,
Joãesson Stahlschmidt⁵ , Luiz Felipe de Sousa Léo⁶ ,
Claudio Coreixas de Moraes⁷ 

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de realidade aumentada georreferenciada para monitoramento do tráfego marítimo e portuário chamado Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada (CITRA). Este é uma solução tecnológica desenvolvida pela Divisão de Modelagem e Simulação do Centro de Análises de Sistemas Navais da Marinha do Brasil (CASNAV) e visa a incrementar a consciência situacional marítima em águas interiores e costeiras, sendo concebido para integrar o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz). O sistema desenvolvido utiliza imagens de câmeras em tempo real e informações recebidas de AIS e/ou radar para disponibilizar a um operador em terra informações georreferenciadas sobre embarcações, tais como posição, rumo, velocidade, bandeira, carga e destino.

Palavras-chave: Vigilância portuária. Amazônia Azul. Realidade Aumentada. Visão Computacional.

Abstract: This paper presented the development of a Georeferenced Augmented Reality system for monitoring maritime and port traffic called Console of Tactical Images of Augmented Reality (CITRA). CITRA is a technological solution developed by the Modeling and Simulation Division of the Naval Systems Analysis Center of the Brazilian Navy (*Centro de Análise de Sistemas Navais da Marinha do Brasil* — CASNAV) and aims to increase maritime situational awareness in inland and coastal waters, being designed to integrate the Blue Amazon Management System (*Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul* — SisGAAz). The developed system uses real-time camera images and information received from AIS and/or radar to provide georeferenced information about vessels to an operator on land, such as position, course, speed, flag, cargo, and destination.

Keywords: Port traffic monitoring. Blue Amazon. Augmented reality. Computer vision.

1. Capitão de Corveta (RM3-T). Doutor em Engenharia de Defesa pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Analista no Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: simal@marinha.mil.br

2. Capitão de Corveta. Mestre em Computação pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Analista no CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: breitingner@marinha.mil.br

3. Capitão de Fragata. Mestre em Modeling and Virtual Environments Simulation pela Naval Postgraduate School (NPS). Encarregado de Divisão no CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: rodrigo.silva@marinha.mil.br

4. Capitão de Corveta. Mestre em Sistemas e Computação pelo IME. Analista no CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: doneda@marinha.mil.br

5. Capitão-Tenente. Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Analista no CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: stahlschmidt@marinha.mil.br

6. Mestre em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisador no Laboratório de Tecnologia Oceânica (LabOceano), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: luizfelipe_leo@poli.ufrj.br

7. Capitão de Mar e Guerra (RM1). Mestre em Modeling and Virtual Environments Simulation pela NPS. Doutorando no LabOceano, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: caucoreixas@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Realidade aumentada é uma tecnologia que permite a integração de elementos ou informações virtuais a visualizações do mundo real através de uma câmera ou lentes especiais. Tais elementos virtuais podem ser textos, elementos gráficos, modelos em três dimensões, entre outros (MILGRAM; TAKEMURA; UTSUMI, 1995). Dessa forma, é possível combinar os elementos virtuais e reais em uma única cena, de modo que interajam entre si para realizar determinada aplicação (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006). A utilização de realidade aumentada em meios militares vem crescendo nos últimos anos, mas a maioria das aplicações nesse contexto é para fins de treinamento e instrução, tais como simulações de combate e eventos reais em ambientes controlados ou inspeção e reparo de equipamentos. Em um dos primeiros artigos sobre esse tema, Livingston, Rosenblum e Julier (2002), destacaram a importância do aumento da consciência situacional no meio militar por meio de reconhecimento de imagens e realidade aumentada. Os autores desenvolveram o *Battlefield Augmented Reality System* (BARS), ferramenta utilizada por militares em centros urbanos para destacar pontos de interesse e possíveis ameaças e perigos inseridos em um campo visual extremamente complexo. Amaguaña, Collaguazo e Tituaña (2018) também utilizaram a realidade aumentada para treinamento militar, somada ao reconhecimento de imagens para a identificação de pontos de interesse no terreno. Além disso, incluíram meios operativos digitais em sobreposição a imagens reais para melhor visualização das estratégias em estudo em um teatro de operações. Deve-se destacar aqui que ambos os trabalhos são dependentes de reconhecimento de imagens para a geração da camada sintética de realidade aumentada. Por outro lado, a realidade aumentada georreferenciada utiliza informações de posicionamento de objetos e da câmera no mundo real para estimar as posições relativas do usuário e dos objetos no seu entorno e, dessa forma, criar a camada de realidade aumentada (GRABOWSKI, 2015). Um exemplo de aplicação dessa natureza utiliza o serviço de localização de embarcações em portos e em alto mar disponibilizado pelo *Marine Traffic* (um projeto aberto e de base comunitária). Essa aplicação visa mostrar informações de embarcações próximas ao usuário em realidade aumentada, extraídas da base de dados do *Marine Traffic*, por meio da câmera do *smartphone*. Entretanto, relatos de usuários sugerem que a aplicação só funciona bem para embarcações atracadas em razão do atraso de alguns minutos para que os dados do *Marine Traffic*, na maioria das localizações globais,

sejam recebidos e processados. Dessa forma, a aplicação não poderia ser utilizada para o acompanhamento de uma embarcação em tempo real. Esse fato, aliado à observação de que há pouquíssimas referências de trabalhos de realidade aumentada com aplicações ao contexto naval, faz crescer a percepção da importância do desenvolvimento de uma solução nacional com o emprego dessa tecnologia, customizada às necessidades da Autoridade Marítima brasileira e que transcenda a utilização em situações de treinamento ou adestramento, fomentando o interesse de novas pesquisas nessa área e o uso das novas tecnologias de realidade aumentada no contexto marítimo. Como projeto piloto no quesito segurança marítima, foi desenvolvido pelo Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) o sistema Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada (CITRA) para o monitoramento de águas internas delimitadas à Baía de Guanabara. Esse sistema, facilmente extensível a outras localidades da costa brasileira, destaca-se como pioneiro no uso de realidade aumentada georreferenciada para a vigilância marítima e portuária no Brasil, com base em centros de controle e monitoramento localizados em terra. O CITRA tem como entrada dados radar e/ou dados de *automatic identification system* (AIS), dados de posicionamento de câmeras fixas em terra e o *streaming* de vídeo gerado por elas. Como saída, o sistema oferece o controle das câmeras, as imagens em tempo real das câmeras sobrepostas por elementos sintéticos de realidade aumentada e toda a interface a ser utilizada pelo usuário, como mostra a Figura 1.

O desenvolvimento do sistema CITRA foi iniciado com uma visão de oportunidade de inovação dos desenvolvedores e gerentes da Divisão de Modelagem e Simulação do CASNAV, utilizando conhecimento de computação gráfica adquirido

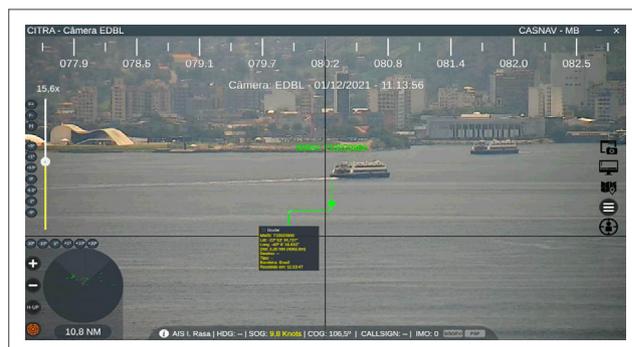


Figura 1. Exibição de dados da embarcação em camada de realidade aumentada no Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada e interface gráfica com o usuário na tela principal do operador.

em mais de dez anos de desenvolvimento de simuladores virtuais de treinamento. Esse grupo percebeu a possibilidade de associar um conhecimento consolidado pelo desenvolvimento de soluções em ambiente virtual com o emprego de tecnologia marítima de navegação, desenvolvendo uma nova linha de pesquisa em realidade aumentada (MORAES et al., 2022). O programa CITRA visa fazer parte do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz) como auxílio ao monitoramento de embarcações na costa brasileira (LAMPERT; COSTA, 2020; CIRM, 2021). É reconhecido como uma das Tecnologias Inovadoras da Marinha do Brasil no recém-lançado livro *Economia Azul: Vetor para o Desenvolvimento do Brasil* (CARVALHO; MORAES; MACHADO, 2022) e recebeu o Selo Bronze Moderniza Brasil do Fórum Nacional de Modernização do Estado em 2022.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é apresentar o sistema de realidade aumentada georreferenciada para o monitoramento

do tráfego marítimo e portuário chamado CITRA, descrevendo a metodologia empregada para seu desenvolvimento, suas principais funcionalidades, os resultados alcançados até o momento e as possibilidades potenciais de emprego do sistema.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do CITRA e sua aplicação na área de segurança marítima e de navegação, primeiramente foi construída uma plataforma de realidade aumentada utilizando-se o motor gráfico Unity 3D. A linguagem de programação empregada é o C#. Nesta seção, são apresentados os elementos básicos da arquitetura do sistema, e são brevemente descritos os processos de análise e processamento dos dados recebidos pelo programa.

3.1. ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema pode ser representada pelo fluxograma da Figura 2.

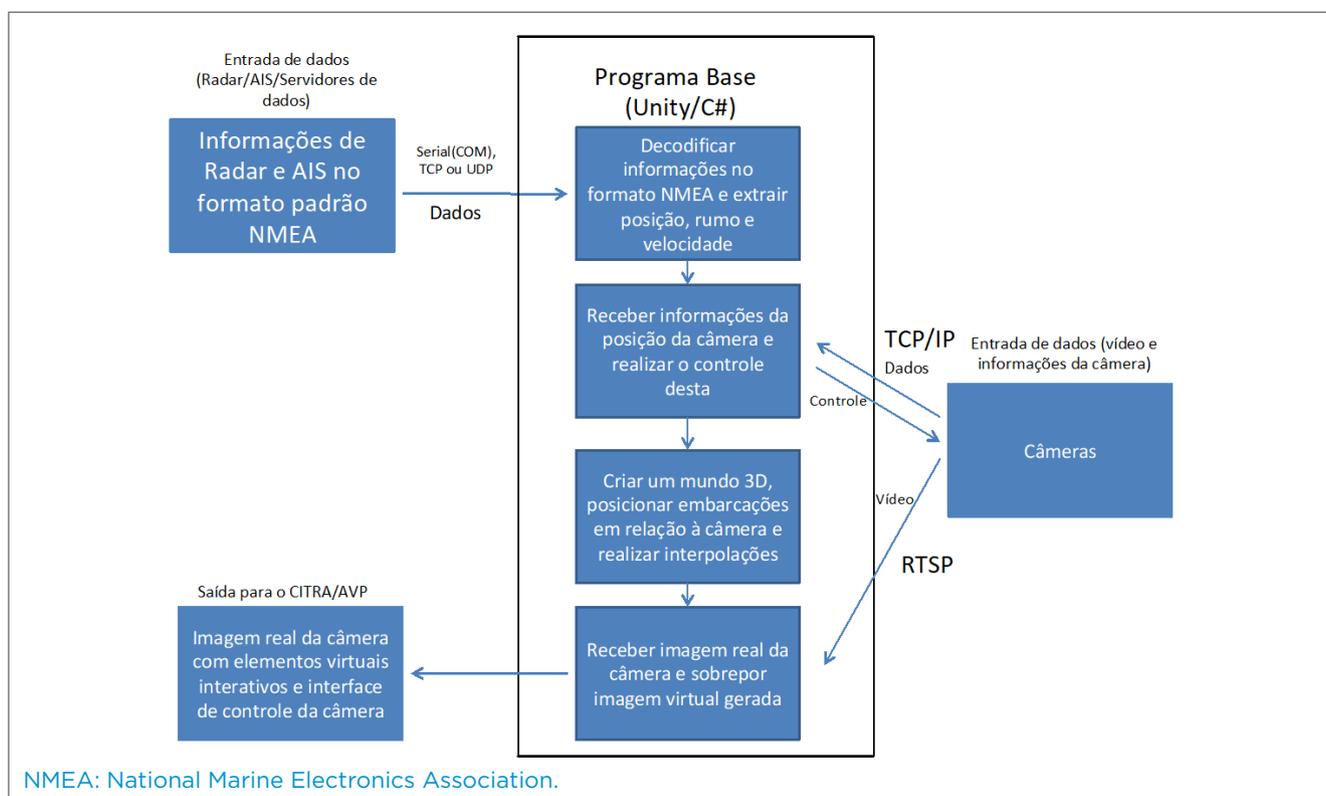


Figura 2. Fluxograma representativo da arquitetura do Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada.

O CITRA tem como entrada dados radar e/ou dados AIS no formato *National Marine Electronics Association* — NMEA 0183, dados de posicionamento de câmeras fixas em terra (latitude, longitude e altura em relação ao nível do mar) e o *streaming* de vídeo gerado pelas câmeras. Como saída, o sistema oferece o controle destas, as imagens em tempo real das câmeras sobrepostas por elementos sintéticos de realidade aumentada e toda a interface a ser utilizada pelo usuário. As comunicações entre o programa e os meios externos ocorrem por intermédio dos protocolos de rede TCP, UDP ou pelo protocolo Serial por meio da porta “COM” do computador para o recebimento de dados e protocolo RTSP para o recebimento de vídeo. A arquitetura do CITRA foi desenhada para que as informações visuais das câmeras físicas sejam processadas em tempo real e os objetos sejam georreferenciados em relação ao usuário. Cada objeto é posicionado em uma cena virtual, assim como o objeto virtual câmera, criado com as mesmas características físicas de geração de imagem que a câmera real propicia. Então, uma linguagem orientada a objeto (C#) é usada para construir a imagem virtual de sobreposição à imagem real da câmera, gerando a camada de realidade aumentada e a interação entre o usuário e os objetos e informações. A Figura 3 ilustra o princípio básico do funcionamento do CITRA, em que o programa recebe dados de sistemas de radares e AIS. O programa comunica-se com as câmeras para receber imagens e realizar seu controle *pan, tilt e zoom*

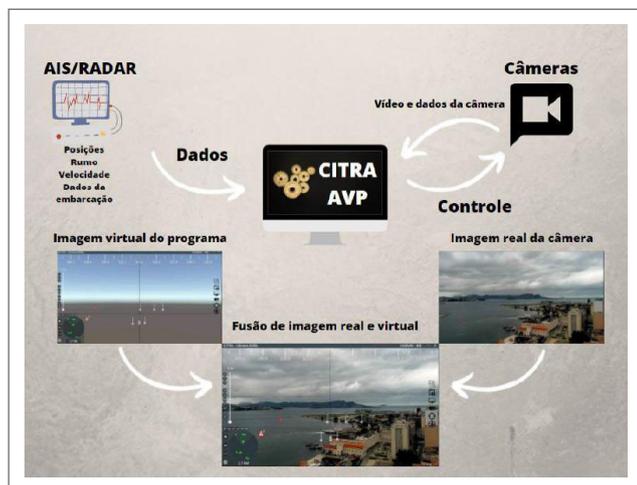


Figura 3. Princípio básico de funcionamento do Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada com a geração da camada de realidade aumentada georreferenciada.

(PTZ), cria a interface de realidade aumentada e sobrepõe a imagem real da câmera com os dados existentes.

3.2. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES

Uma das características do CITRA é a capacidade de decodificar uma informação recebida de posicionamento de embarcação no formato de mensagem de AIS e converter tal informação em uma posição 3D no mundo virtual da Unity. Os dados de AIS são recebidos de acordo com o padrão NMEA 0183, e as mensagens de interesse para o CITRA são do tipo VDM. Para cada mensagem VDM recebida, são extraídas as informações de latitude e longitude dos alvos (x_{obj}, y_{obj}), de modo a posicioná-los na cena em relação à localização de cada câmera (x_{cam}, y_{cam}) do sistema. Assim, a relação básica de georreferenciamento do CITRA pode ser expressa pela Equação 1, a qual permite que a posição P_{obj} de um objeto na cena possa ser calculada. Detalhes sobre a conversão entre as coordenadas do mundo real e do mundo virtual criado na Unity 3D podem ser obtidos em Léo (2022).

$$P_{obj} = (x_{obj} - x_{cam}, y_{obj} - y_{cam}, 0) \quad (1)$$

Para contornar o problema relacionado ao *delay* no recebimento e processamento das mensagens VDM do AIS, foi implementada uma rotina de interpolação em tempo de execução do programa baseada nos dados de *speed over ground* (SOG), que indica a velocidade relativa da embarcação em relação à superfície da terra, e *course over ground* (COG), que indica a direção na qual a embarcação está se movendo. Tais dados também são transmitidos na *string* de mensagens VDM. Assim, a cada quadro do programa, o objeto virtual que representa a embarcação é posicionado na sua direção de movimento (em conformidade com o COG) e o seu deslocamento é calculado de acordo com a Equação 2:

$$D_{total} = SOG \times 0,514444 \times \Delta t \quad (2)$$

Em que:

D_{total} (em metros): a distância total percorrida pelo objeto desde o último quadro;

0,514444: o fator de conversão para a velocidade, que é recebida em nós e convertida para metros por segundo;

Δt (em segundos): o valor de tempo passado desde o último quadro calculado até o momento atual.

Por fim, para garantir a correta sobreposição da camada sintética de realidade aumentada na imagem real obtida para diferentes níveis de *zoom* das câmeras, foi estudado o parâmetro *field of view* (FoV) de cada um desses dispositivos. Como a relação entre *zoom* e FoV é não linear, foi necessário criar uma rotina de calibração, que varia de acordo com os parâmetros intrínsecos e extrínsecos das lentes das câmeras. A estratégia adotada para calibrar o FoV da câmera foi criar uma matriz com 30 posições de valores distintos, em que cada um deles está diretamente relacionado com um valor de *zoom* da câmera, e os valores intermediários são interpolados, visando a um melhor tratamento da não linearidade já mencionada. Um exemplo de relação entre o FoV e 30 níveis diferentes de *zoom* para um modelo de câmera real usada pelo CITRA é ilustrado pelo gráfico mostrado na Figura 4.

4. CONSOLE DE IMAGENS TÁTICAS DE REALIDADE AUMENTADA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA A DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EMBARCAÇÕES

Como descrito na Seção 3, o funcionamento básico do CITRA depende do recebimento de dados de AIS e/ou radar para que o georreferenciamento seja feito de maneira correta e os dados das embarcações sejam exibidos na tela do operador por meio da camada de realidade aumentada. No entanto, em aplicações de vigilância e monitoramento

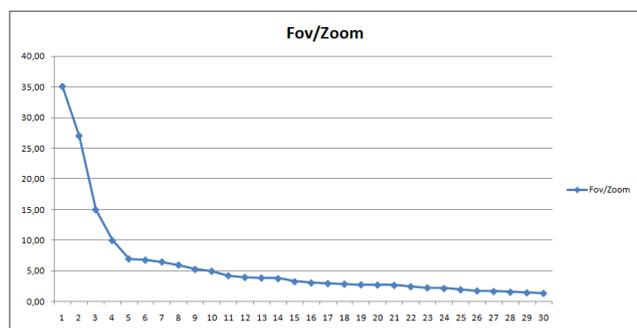


Figura 4. Relação entre *field of view* e níveis de *zoom* de um modelo específico de câmera.

no contexto da segurança portuária e de navegação, deve-se considerar a possibilidade de haver embarcações trafegando fora de uma área de cobertura dos sistemas de radar ou que não estejam emitindo sinal de AIS, seja por avaria em seu *transponder* de bordo, seja de maneira proposital. Para contornar esse problema, tem sido desenvolvido para o CITRA um módulo de visão computacional baseado em redes neurais artificiais profundas, cujo objetivo é fazer a detecção e classificação automáticas de embarcações por meio de análise de vídeo em tempo real. As redes neurais profundas (do inglês *deep neural networks* — DNN) têm sido aplicadas em diferentes campos do conhecimento, desde o processamento de sinais até o processamento de imagens. Na área de visão computacional, um tipo específico de DNN, conhecido como redes neurais convolucionais (do inglês *convolutional neural networks* — CNN), revolucionou o estado da arte nas aplicações de detecção e classificação de objetos, permitindo alcançar um *trade-off* interessante entre velocidade de processamento e acurácia de detecção dos objetos de interesse. A implementação do módulo de CNN no CITRA segue a arquitetura *You Only Look Once* (YOLO) em sua versão v4 (BOCHKOVSKIY; WANG; LIAO, 2021). A ideia básica da arquitetura YOLO é que uma única rede neural seja aplicada para analisar globalmente cada imagem, por meio de um eficiente método de regressão. Uma rede YOLO prevê caixas delimitadoras para objetos detectados em cada célula da grade e calcula probabilidades de classe *C* para esses objetos. O número de classes *C* depende do conjunto de dados. Uma estratégia de aprendizado por transferência foi utilizada para gerar o classificador empregado no CITRA. Com base no modelo treinado por Breitinger, Clua e Fernandes (2021), em que foram usadas imagens sintéticas, foram incorporadas ao conjunto de dados imagens reais de embarcações capturadas na Baía de Guanabara pelas câmeras do CITRA, devidamente rotuladas de acordo com suas classes. A rede neural inicial foi então retreinada usando-se as imagens reais, obtendo-se significativo aumento da acurácia de detecção de classificação das embarcações.

5. RESULTADOS

Os dois principais resultados obtidos pelo projeto CITRA são: a criação de uma malha interconectada de câmeras e o

desenvolvimento de um *software* de monitoramento e controle com tecnologia avançada em realidade aumentada georreferenciada e visão computacional. O sistema hoje conta com um conjunto significativo de funcionalidades, algumas baseadas em georreferenciamento, outras baseadas em inteligência artificial. As principais funcionalidades do CITRA são apresentadas na Seção 5.1. Resultados de detecção e classificação automática de embarcações por reconhecimento de imagens são mostrados na Seção 5.2. Por fim, a Seção 5.3 lista possíveis aplicações do CITRA como importante ativo tecnológico da MB.

5.1. FUNCIONALIDADES

Dentre as principais funcionalidades implementadas atualmente no CITRA, destacam-se a exibição em realidade aumentada de dados AIS e radar; a integração com cartas náuticas; o *tracking* automático de alvos; a possibilidade de plotagem de áreas

de interesse; a geração de mensagens de alerta; e a integração com aplicações de caráter civil, como o Porto Sem Papel (PSP).

5.2. ALGUNS RESULTADOS DE RECONHECIMENTO DE IMAGENS

O desenvolvimento do CITRA contemplou ainda a implementação de um módulo de visão computacional baseado em redes neurais artificiais profundas do tipo YOLO, cujo objetivo é fazer a detecção e classificação automáticas de embarcações por meio de análise de vídeo em tempo real. Essa funcionalidade visa à detecção de embarcações mesmo que elas estejam fora de uma área de cobertura do radar ou não estejam emitindo sinais AIS. A Figura 6 mostra alguns resultados obtidos pelo algoritmo de reconhecimento de imagens e ilustra a capacidade de classificar corretamente diferentes classes de embarcações.



Figura 5. Algumas das funcionalidades do Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada: (A) exibição em realidade aumentada de dados AIS; (B) integração com cartas náuticas; (C) plotagem de áreas de interesse; (D) integração com o Porto Sem Papel.

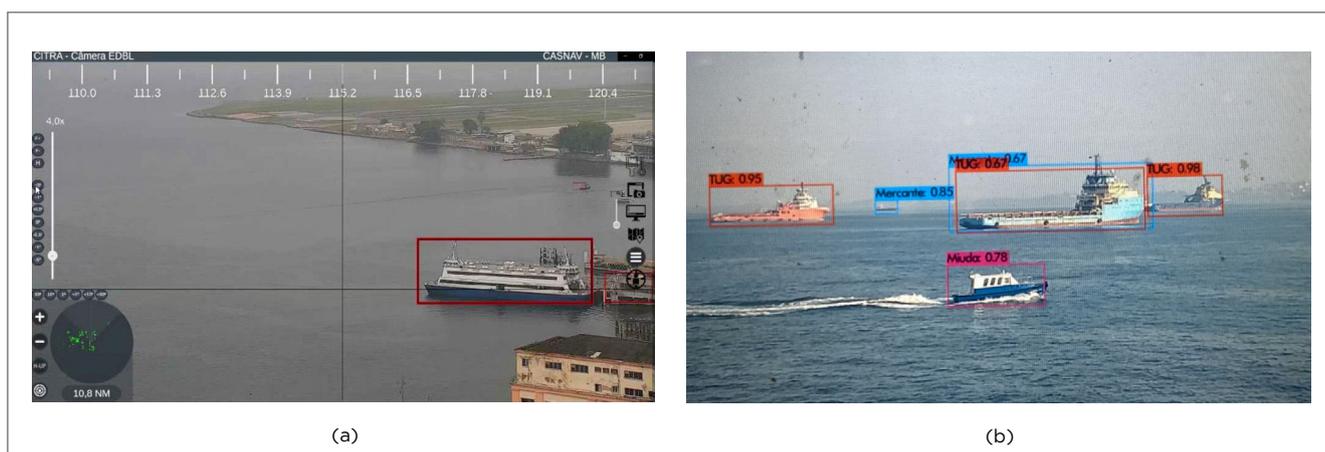


Figura 6. Resultados do algoritmo de reconhecimento de imagens por inteligência artificial, mostrando (A) detecção de embarcação sem sinal de *automatic identification system* (AIS) e (B) classificação automática de diferentes tipos de embarcação.

5.3. POSSIBILIDADES DE EMPREGO

O domínio da tecnologia presente no CITRA e a possibilidade de alterações no seu código fonte são essenciais para adequar essa ferramenta às necessidades da MB. A integração a sensores externos e o uso da inteligência artificial associada a imagens (visão computacional) permitem que o CITRA possa ser utilizado nas seguintes tarefas:

- integração ao SisGAAz, com a possibilidade de integração com o Sistema de Informações Sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM);
- apoio ao setor operativo na condução de medidas de proteção a ameaças assimétricas e controle de área marítima;
- apoio às Capitânicas, Delegacias e Agências na fiscalização do tráfego de embarcações em tempo real, de forma a coibir ilícitos, com a possibilidade de gravação de dados para uso posterior;
- detecção e classificação de alvos utilizando inteligência artificial e algoritmos de visão computacional, de forma a obter independência de sensores externos;
- apoio a operações portuárias;
- monitoramento ambiental;
- apoio à navegação por meio de um Assistente Virtual de Passadiço, que é uma versão embarcada do CITRA já existente (CITRA-AVP), contribuindo para a consciência situacional da tripulação de um navio, com a possibilidade de transmissão desses dados para os setores de Comando e Controle em terra ou embarcados;

- apoio às atividades *search and rescue* (SAR) na cena de ação, com o CITRA-AVP embarcado em navios e aeronaves;
- ferramenta de instrução para operadores de *Local Port Service*, passo importante para a adequação ao conceito do *E-Navigation*;
- ferramenta de controle do veículo de superfície não tripulado — experimental (VSNT-E), na qual o CITRA-AVP é utilizado como interface de controle remoto, contendo algoritmos de controle e guiagem autônoma.

6. CONCLUSÕES

O Brasil foi descoberto pelo mar e este está sempre presente na vida do brasileiro. Vêm do mar 95% do petróleo e 80% do gás natural que usamos. Além disso, 95% do comércio exterior brasileiro também trafega pelo oceano. Espera-se que o CITRA seja capaz de colaborar para o esforço nacional de monitoramento e vigilância do litoral brasileiro, sendo capaz de integrar-se ao SisGAAz, fornecendo visualização em tempo real de navios de interesse e informações sobrepostas às imagens por meio da tecnologia de realidade aumentada. Essas capacidades agregadas são fundamentais para o cumprimento das metas estabelecidas pela Estratégia Nacional de Defesa no que tange à disponibilidade de meios capazes de exercer vigilância e controle das águas jurisdicionais brasileiras, colaborando ainda para a manutenção da segurança das linhas de navegação e comunicação marítimas.

REFERÊNCIAS

- AMAGUAÑA, F.; COLLAGUAZO, B.; TITUAÑA, J. Simulation system based on augmented reality for optimization of training tactics on military operations. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUGMENTED REALITY, VIRTUAL REALITY AND COMPUTER GRAPHICS. Anais [...]*. Cham: Springer, 2018. p. 394-403.
- BOCHKOVSKIY, A.; WANG, C. Y.; LIAO, H. Y. M. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934>
- BREITINGER, A.; CLUA, E.; FERNANDES, L. A. F. An Augmented reality periscope for submarines with extended visual classification. *Sensors*, v. 21, n. 22, p. 7624, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21227624>
- CARVALHO, F. N.; MORAES, C. C.; MACHADO, V. F. Tecnologias inovadoras. *In: SANTOS, T.; BEIRÃO, A. P.; ARAUJO FILHO, M. C.; CARVALHO, A. B. (org.). Economia azul: vetor para o desenvolvimento do Brasil*. São Paulo: Essencial Idea, 2022. v. 1, p. 459-478.
- COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR (CIRM). *Amazônia Azul*. CIRM, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/amazoniaazul>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- DOCUMENTAÇÃO DO C#. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- GRABOWSKI, M. Research on wearable, immersive augmented reality (WIAR) adoption in maritime navigation. *Journal of Navigation*, v. 68, n. 3, p. 453-464, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0373463314000873>
- LAMPERT J.; COSTA E. *SisGAAz: Proteção e Monitoramento das Águas Jurisdicionais Brasileiras*. 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sisgaaz-protexao-e-monitoramento-das-aguas-jurisdicionais-brasileiras#:~:text=O%20SisGAAz%20%C3%A9%20um%20Programa,para%20a%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20empregos>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- LÉO, L. F. de S. *Desenvolvimento e avaliação de aplicações em realidade aumentada para melhoria de segurança marítima e de navegação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- LIVINGSTON, M. A.; ROSENBLUM, L. J.; JULIER, S. An augmented reality system for military operations in urban terrain. *In: INTERSERVICE / INDUSTRY TRAINING, SIMULATION, & EDUCATION CONFERENCE, 2002. Anais [...]*. 2002.
- MARINE TRAFFIC. Disponível em: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *In: MILGRAM, P. (org.). Telem manipulator and telepresence technologies*. Estados Unidos: International Society for Optics and Photonics, 1995. p. 282.
- MORAES, C. C.; VIEIRA, R. S.; DONEDA, A. L. C.; MOREIRA, L. A. S.; BREITINGER, A. R.; STAHLSCHEMIDT, J. Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada (CITRA): os olhos atentos da Amazônia Azul. *Revista Passadiço*, p. 68-71, 2022.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*. Porto Alegre: SBC, 2006.
- UNITY. Disponível em: <https://unity.com/pt>. Acesso em: 24 nov. 2022.