



# UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS INTERATIVAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM PROJETO DE SATÉLITES

Andréa Zotovici<sup>1</sup>, Maurício Ferreira<sup>2</sup>, Magda Ap. Silvério Miyashiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluna de Doutorado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE)

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

andrea.zotovici@fatec.sp.gov.br

---

**Resumo.** Este trabalho deve caracterizar o projeto de satélite realizado com o apoio de Realidade Aumentada e Realidade Virtual, e de técnicas de Inteligência Artificial. A metodologia se baseou na revisão sistemática usando bases de dados que indexam periódicos e anais de eventos da área de sistemas espaciais e engenharia. Os artigos usaram a Realidade Aumentada para estudar de técnica de interação usando um satélite como caso de teste, a Realidade Virtual para a montagem de satélites integrando um motor de física ou algoritmos de simulação, e técnicas de Inteligência Artificial para proposta ou otimização de subsistemas de um satélite. A Realidade Virtual tem grande potencial para apoio à tomada de decisão nas fases iniciais de projeto sobre a organização dos componentes do satélite e simulação de seu comportamento. A Inteligência Artificial permite o apoio à definição, análise, verificação e validação dos subsistemas de um satélite.

---

**Palavras-chave:** Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Inteligência Artificial; Projeto de Satélites.

## 1. Introdução

O projeto de satélites é uma atividade complexa que envolve a integração de diversos subsistemas que impactam no desempenho, confiabilidade e custo. Nas fases iniciais do ciclo de vida de satélites é possível utilizar técnicas que permitam a melhoria do desempenho, garantia da confiabilidade e redução de custos (BERREZZOUG; BOUDJEMAI; BENDIMERAD, 2019)(GENG et al., 2017).

As tecnologias interativas abordadas neste artigo são a Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Segundo Geng et al. (2017), a utilização de Realidade Virtual (RV) em projeto de satélite possibilita focar atenção em aspectos de acessibilidade e ergonomia, e fornece um modelo de avaliação sistemático, quantitativo e objetivo para a montagem de satélites e avaliação de problemas. A avaliação de problemas ajuda a encontrar as falhas de montagem antes que o modelo físico seja montado, o que evita desperdício de tempo e recursos financeiros.



E, segundo Deshmukh (2015), o modelo tridimensional (3D) do satélite, utilizado na interface de RV, cria uma base concreta para as fases posteriores do projeto. A Realidade Virtual pode ser imersiva o que necessitará de equipamentos especiais ou não imersiva que pode ser utilizada sem equipamentos especiais. Na Realidade Virtual imersiva o usuário sente que faz parte do ambiente virtual 3D interativo.

A Realidade Aumentada é aplicada na Indústria para manuais e tutoriais aumentados, inspeção e verificação de qualidade, instruções de montagem e manutenção, demonstrações de um produto ou de operação de equipamentos, engenharia colaborativa e avisos aumentados (FRAGA-LAMAS, 2018). Quando se menciona um objeto aumentado, significa que esse objeto foi integrado ao ambiente real em tempo real. Como por exemplo, um aviso aumentado pode ser a projeção de um texto ou imagem ao ambiente real.

O sistema que utiliza técnicas de Inteligência Artificial pode integrar ferramentas de apoio para obter rapidamente uma solução factível e otimizada, recomendar como melhorar o projeto, e automatizar algumas partes do processo.

Diante do exposto, é importante contribuir com a evolução de ferramentas de projeto de satélites. O levantamento da forma como a RV, a RA e a IA são aplicadas nos projetos de satélite fornecerão a base para compreender quais contribuições são importantes para essa evolução.

A Revisão Sistemática foi realizada com a finalidade de identificar a forma como as tecnologias interativas Realidade Virtual e Realidade Aumentada, e técnicas de Inteligência Artificial foram aplicadas no projeto de Satélites.

O objetivo desse trabalho é caracterizar sistemas computacionais para projeto de satélite que utilizam o apoio de interfaces de realidade aumentada e realidade virtual, e de técnicas de inteligência artificial.

Os objetivos específicos são:

- levantar artigos publicados em periódicos que relatem aplicações desenvolvidas para o projeto de satélites usando interfaces de realidade aumentada e realidade virtual, e aplicando técnicas de inteligência artificial;
- elaborar uma síntese da aplicação para o projeto de satélites relacionando os módulos e subsistemas incluídos

## 2. Metodologia

Este trabalho iniciou com a definição da questão de pesquisa: Qual é a aplicação da Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial em projeto de satélites?

Em seguida, foi elaborado o protocolo de revisão sistemática e executado para responder à questão de pesquisa. Todo o processo da revisão sistemática foi documentado no software colaborativo de acesso gratuito pela web denominado Parsif.al.

No protocolo foi definido que o levantamento bibliográfico seria realizado nas bases de dados da Scopus, Web Of Science, Science Direct e Engineering Village, porque indexam muitos periódicos e anais de eventos da área de computação e de sistemas especiais.

Para o levantamento bibliográfico foi definida uma sentença para busca de artigos em Língua Inglesa. A sentença de busca para artigos foi: TITLE-ABS-KEY ( "satellite design" AND ( "virtual reality" OR "augmented reality" OR "artificial intelligence" OR "machine



learning" OR "deep learning" OR "fuzzy logic" OR "intelligent systems" OR “computational intelligence”)). Não houve restrição sobre período de publicação dos artigos.

Para determinar se os artigos deveriam ser incluídos ou excluídos da revisão sistemática, foi realizada a leitura do título e resumo de todos. Cada artigo recebeu a classificação se foi incluído ou excluído, e o motivo. A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam os motivos de inclusão e exclusão de artigos usados como referência.

Tabela 1 Motivos de Inclusão de Artigos. Fonte: Produção dos Autores.

Código	Descrição
Inc1	Projeto de satélite aplicando técnicas de Inteligência Artificial
Inc2	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Aumentada
Inc3	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Aumentada e técnicas de Inteligência Artificial
Inc4	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Virtual
Inc5	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Virtual e técnicas de Inteligência Artificial

Tabela 2 Motivos de Exclusão de Artigos. Fonte: Produção dos Autores.

Código	Descrição
Exc1	Anais ou proceedings
Exc2	Não foi possível ter acesso ao estudo
Exc3	Estudo publicado em idioma oriental / asiático e protegido contra a função de copiar e colar o texto em tradutor
Exc4	Não discute sistema para projeto de satélite
Exc5	Não aplica as tecnologias de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada, ou técnicas de Inteligência Artificial

Os artigos foram lidos, classificados quanto à qualidade e foram obtidos os dados necessários para a caracterização da aplicação de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial.

A classificação quanto à qualidade observou se os artigos possuíam:

- Questões de pesquisa e objetivos bem definidos;
- A metodologia da pesquisa foi bem explicada;
- A interpretação dos dados coletados e os resultados alcançados estão claras;
- As conclusões alcançadas são coerentes com a pesquisa conduzida;
- Técnicas e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do sistema foram apresentadas.

A extração de dados foi conduzida registrando:

- Importância da tecnologia abordada no projeto de satélite;
- Motivação para aplicação da tecnologia abordada;
- Detalha a implementação da tecnologia;



- Técnica adotada;
- Detalhes.

### 3. Resultados e Discussão

O processo de busca obteve como resultado 36 artigos. Desses 13 foram incluídos e 23 foram excluídos da revisão sistemática. A Tabela 3 apresenta os motivos de inclusão e a quantidade de artigos incluídos, e a Tabela 4 apresenta os motivos de exclusão e a quantidade de artigos excluídos.

Tabela 3 Motivos de Inclusão de Artigos. Fonte: Produção dos Autores.

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quantidade de Artigos</b>
Inc1	Projeto de satélite aplicando técnicas de Inteligência Artificial	09
Inc2	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Aumentada	01
Inc3	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Aumentada e técnicas de Inteligência Artificial	00
Inc4	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Virtual	03
Inc5	Projeto de satélite aplicando interfaces com Realidade Virtual e técnicas de Inteligência Artificial	00
Total de Artigos Incluídos		13

Tabela 4 Motivos de Exclusão de Artigos. Fonte: Produção dos Autores.

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quantidade de Artigos</b>
Exc1	Anais ou proceedings	03
Exc2	Não foi possível ter acesso ao estudo	02
Exc3	Estudo publicado em idioma oriental / asiático e protegido contra a função de copiar e colar o texto em tradutor	00
Exc4	Não discute sistema para projeto de satélite	15
Exc5	Não aplica as tecnologias de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada, ou técnicas de Inteligência Artificial	03
Total de Artigos Excluídos		23



A Figura 1 ilustra a distribuição dos artigos incluídos na revisão sistemática quanto à tecnologia utilizada para o projeto de satélites. A IA presente em 69 % dos artigos foi a mais utilizada, a RV foi utilizada por 23% dos artigos e a RA foi utilizada por 8% dos artigos.

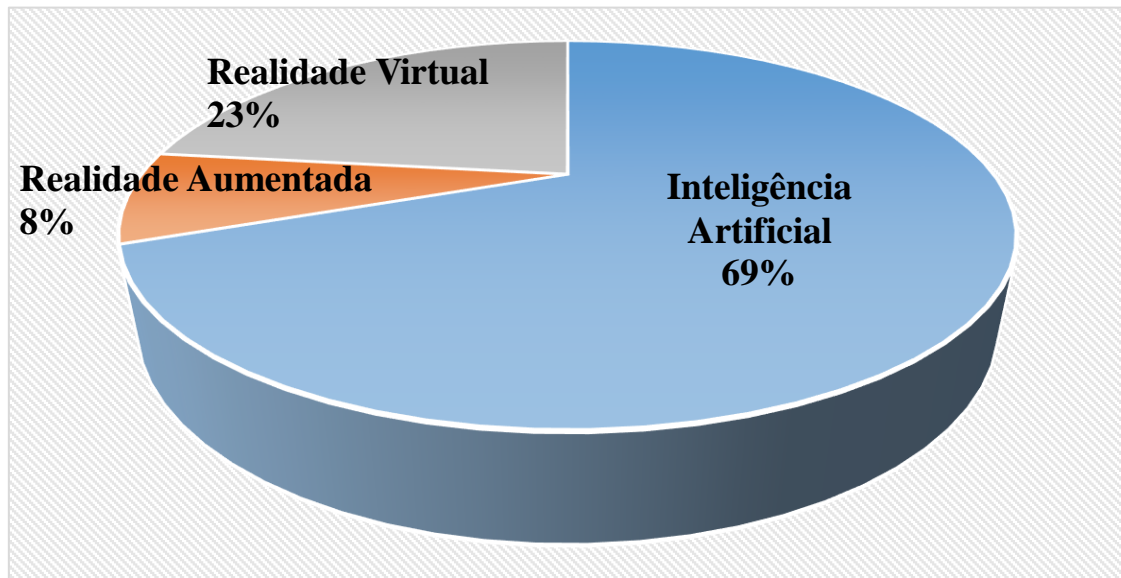


Figura 1 Abordagem dos Artigos Incluídos. Fonte: Produção dos Autores.

A Tabela 5 apresenta uma síntese a respeito das técnicas adotadas para projeto de satélite e em qual parte do satélite se concentra.

Tabela 5 Técnica de Projeto x Parte do Satélite. Fonte: Produção dos Autores.

Técnica Adotada para o Projeto	Parte do Satélite	Autores	Ano
Controlador para interação com modelos 3D em realidade aumentada imersiva para análise da técnica de manipulação dos modelos 3D. (RA)	Carga Útil e Módulo de Serviço	Bahnmuller et al.	2020
Bancada de Ensaio Digital, Gêmeo Digital e Algoritmos de Simulação (RV)	Controle de Atitude	Osterloh e Rossmann	2019
Manutenção Virtual agregando à interface de realidade virtual um motor de física (RV)	Carga Útil	Geng et al.	2017

(Continua)



Tabela 5 - Técnica de Projeto x Parte do Satélite - Continuação

<b>Técnica Adotada para o Projeto</b>	<b>Parte do Satélite</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>
Otimização Multidisciplinar com Otimização Colaborativa (simulação numérica e algoritmos genéticos - IA)	Módulo de Serviço: Fonte de Alimentação Elétrica, Determinação de Atitude e Sistema de Controle; Telemetria, Telecomando e Controle; Controle Térmico; Estruturas, Comando e Manuseio.	Jafarsalehi, Fazeley e Mirshams	2016
Design Orientado a Valor (Value Driven Design - VDD) e mapa auto-organizado (IA)	Veículo de Lançamento Carga Útil Módulo de Serviço: Determinação e Controle de Atitude; Controle Térmico; Estruturas; Propulsão.	Richardson et al.	2014
Algoritmos Genéticos (IA)	Módulo de Serviço: Controle de Atitude e Órbita	Nascimento et al.	2013
Sistema Especialista (IA)	Subsistemas: Térmico, ADCN, Energia, Propulsão, Telemetria, Telecomando e Controle, Estruturas;  Módulo de carga útil.	Kichkaylo et al.	2012

(Continua)



Tabela 5 - Técnica de Projeto x Parte do Satélite - Continuação

Técnica Adotada para o Projeto	Parte do Satélite	Autores	Ano
Redes Bayesianas (IA)	Não separa, aborda o projeto completo.	Santangel o, Andrew D.	2009a
	Não separa, aborda o projeto completo.	Santangel o, Andrew D.	2009b
	Não separa, aborda o projeto completo.	Santangel o, Andrew D.	2008
	Não separa, aborda o projeto completo.	Santangel o, Andrew D.	2007
Design by Shopping por meio da seleção de dados exibidos em gráficos 3D, modelos de satélites previamente elaborados, e interação com o modelo 3D do satélite.(RV)	Módulo de Serviço: Potência, Atitude, Controle	Propulsão, Navegação e	Stump et al. 2004
Operadores Sequenciais e aprendizado de máquina para obter o conhecimento sobre o tipo de operador que deveria ser aplicado em cada módulo. A alteração de um módulo pode afetar outros, então a consistência é mantida automaticamente.(IA)	Possui módulos para posicionamento de equipamento, análise térmica, planejamento de área de radiação, avaliação térmica, análise orbital, cálculo de combustível, cálculo e análise de peso.	Nakasuka et al.	1999

#### 4. Conclusão

Nos artigos resultantes do processo de busca da revisão sistemática, é possível constatar que as interfaces de RA e de RV foram aplicadas sem a integração com as técnicas de inteligência artificial.

Nos artigos obtidos, a RV permitiu que o usuário realizasse a análise da relação entre os componentes de um satélite e estabelecesse uma hierarquia lógica entre eles. Enquanto os artigos que discutiram a aplicação de técnicas de IA possibilitaram determinação de solução factível e otimizada, recomendação de melhorias para o projeto, e automatização de algumas partes do processo contribuindo para o bom desempenho e confiabilidade do produto.

O único artigo que abordou a Realidade Aumentada abordava apenas sua aplicação para o estudo de uma técnica de interação.

As aplicações que possuem interfaces de RV discutidas nos artigos obtidos durante a revisão sistemática mostraram o potencial dessa tecnologia para apoiar a tomada de decisão sobre a organização dos componentes e simulação do comportamento do satélite.



A partir dos artigos que aplicam a Inteligência Artificial foi possível identificar que essa tecnologia tem grande potencial para o apoio à definição, análise, verificação e validação dos subsistemas de um satélite.

Para trabalhos futuros, será realizada uma revisão sistemática para verificar a aplicação de RA, RV e IA em projetos de produtos na indústria e comparar com o projeto de satélites. Essa comparação tem a finalidade de identificar abordagens que podem ser estendidas ao projeto de satélites.

## Referências

- BAHNMÜLLER, Anna et al. Evaluation of Interaction Techniques for Early Phase Satellite Design in Immersive AR. In: **2020 IEEE Aerospace Conference**. IEEE, 2020. p. 1-8.
- BERREZZOUG, Salima; BOUDJEMAI, Abdelmadjid; BENDIMERAD, Fethi Tarik. Interactive design and multidisciplinary optimization of geostationary communication satellite. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, v. 13, n. 4, p. 1519-1540, 2019.
- DESHMUKH, Meenakshi et al. Interactive 3D visualization to support concurrent engineering in the early space mission design phase. In: *Challenges in European Aerospace, CEAS Air & Space Conference*. 2015.
- FRAGA-LAMAS, Paula et al. A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. *Ieee Access*, v. 6, p. 13358-13375, 2018.
- GENG, Jie et al. A virtual maintenance-based approach for satellite assembling and troubleshooting assessment. *Acta Astronautica*, v. 138, p. 434-453, 2017.
- JAFARSALEHI, A.; FAZELEY, H. R.; MIRSHAMS, M. Conceptual remote sensing satellite design optimization under uncertainty. *Aerospace Science and Technology*, v. 55, p. 377-391, 2016.
- KICHKAYLO, Tatiana et al. Highly efficient exploration of large design spaces: fractionated satellites as an example of adaptable systems. *Procedia Computer Science*, v. 8, p. 428-436, 2012.
- NASCIMENTO, Amanda Leonel et al. Automatic satellite sun sensors placement using multi-objective genetic algorithm. In: **2013 BRICS Congress on Computational Intelligence and 11th Brazilian Congress on Computational Intelligence**. IEEE, 2013. p. 402-408.
- NAKASUKA, Shinichi et al. Computer Intelligence in Integrated Satellite Design Support Infrastructure. In: **Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space**. 1999. p. 185.
- OSTERLOH, Tobias; ROSSMANN, Jürgen. A Rigid Body Dynamics Simulation Framework for the Analysis of Attitude Control Systems of Modular Satellite Systems. In: **2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)**. IEEE, 2019. p. 1-8.
- RICHARDSON, Trevor et al. Incorporating value-driven design into the visualization of design spaces using contextual self-organizing maps: A case study of satellite design. In: **15th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference**. 2014. p. 2728.
- SANTANGELO, Andrew. OpenSAT (TM), a framework for satellite design automation for responsive space. In: **AIAA Infotech@ Aerospace 2007 Conference and Exhibit**. 2007. p. 2910.
- SANTANGELO, Andrew. OpenSAT (TM) and SATBuilder: A Satellite Design Automation Environment for Responsive Space. In: **46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit**. 2008. p. 1127.
- SANTANGELO, Andrew. step\_SATdb and QuickSAT: A Systems Engineering and Satellite Design Automation Environment. In: **47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition**. 2009a. p. 1201.





12º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

6, 7, 13 e 14 de novembro de 2021

SANTANGELO, Andrew. step\_SATdb and QuickSAT: An Ai-Based Satellite Design Automation Environment. In: **47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition**. 2009b. p. 430.

STUMP, Gary M. et al. Trade space exploration of satellite datasets using a design by shopping paradigm. In: **2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 04TH8720)**. IEEE, 2004. p. 3885-3895.