

MODELO BASEADO EM GÊMEOS DIGITAIS E VISÃO COMPUTACIONAL PARA DAR SUPORTE AO GERENCIAMENTO DE INVENTÁRIOS NO SETOR VAREJISTA

Renzo Paranaíba Mesquita – renzokuken31@gmail.com

José Antonio de Queiroz – ja.queiroz@unifei.edu.br

Fabiano Leal – fleal@unifei.edu.br

Palavras-chave: Gêmeos Digitais, Visão Computacional, Varejo, Controle de Inventários, Prateleiras.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação da Modelagem e Simulação (M&S) computacional tem se difundido progressivamente ao longo do tempo. Porém, a forma de se realizar M&S em si vem se modificando nos últimos anos, saltando de modelos com tempo de vida limitado e que não realizam qualquer troca de dados frequente entre os mundos real e virtual, para abordagens mais dinâmicas e de uso constante, em que os dados fluem entre os mundos real e virtual em tempo real ou quase real (Kritzinger *et al.*, 2018). Esta nova forma de simulação é chamada de Gêmeo Digital (GD).

O GD é uma abordagem relativamente nova e apenas nesta última década pesquisas voltadas a este assunto vieram à tona. É importante destacar que a maioria das soluções propostas baseadas em GDs são voltadas ao setor manufatureiro (Santos *et al.*, 2021). Com isso, a literatura ainda carece de pesquisas que ilustrem como eles podem impactar positivamente outros setores, como é o caso do varejo, um modelo de negócio já bem conhecido, mas que se encontra em constante expansão.

A fim de contribuir com novas abordagens que buscam a melhoria de processos do setor varejista, o objetivo geral deste trabalho é propor um modelo baseado em GD e Visão Computacional (VC), fazendo uso de tecnologias acessíveis e que visa dar suporte em tempo quase real ao gerenciamento de inventários em prateleiras presentes em estabelecimentos varejistas. O modelo busca orientar os

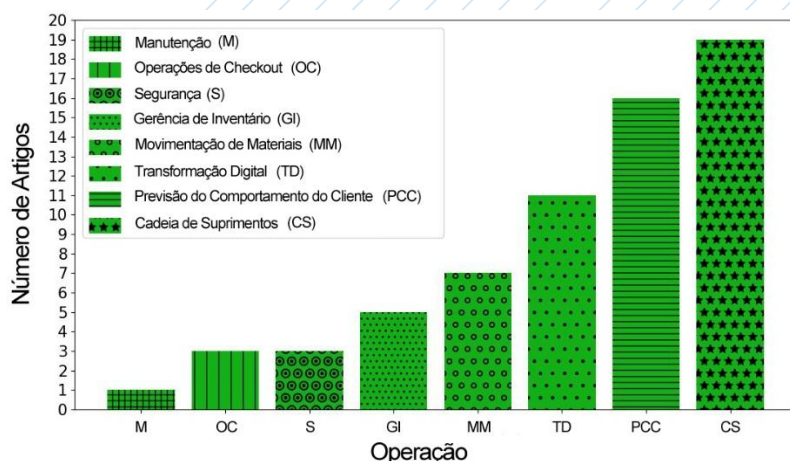
stakeholders sobre quais prateleiras merecem maior atenção no processo de recarregamento. Para isso, se baseia em um índice de esvaziamento que leva em consideração os espaços vazios (*gaps*) identificados nas prateleiras dos produtos monitorados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

De acordo com resultados da pesquisa realizada por Mesquita, Leal e Queiroz (2024), que buscou identificar o potencial uso dos GDs no setor varejista, a gerência de inventários se encontra como uma das atividades que tem menos usufruído desta abordagem no setor, conforme ilustra a Figura 1. Além disso, uma pesquisa exploratória ilustrou que a integração entre GDs e técnicas de VC ainda é uma junção pouco explorada para auxílio no controle de inventários, abrindo um leque de oportunidades de pesquisa, como a realizada neste trabalho.

Figura 1 - Atividades mais populares do setor varejista que já buscaram explorar do uso dos GDs



Fonte: elaborado pelo próprio autor

De acordo com Wright e Davidson (2020), existem três partes fundamentais que devem ser levadas em consideração para se propor um GD: um modelo de objeto ou sistema físico real, um conjunto evolutivo de dados relacionados a ele e um meio de atualizar ou ajustar dinamicamente um modelo virtual de acordo com os dados. Diferente de uma abordagem que fornece uma representação momentânea de um objeto ou sistema em um momento específico com base em dados históricos, o GD

pode estender a vida útil de um modelo, uma vez que os dados mais recentes são usados para atualizar seus parâmetros.

2.2 Metodologia

Os principais materiais utilizados na implementação do protótipo do GD incluem uma gôndola profissional de aço do tipo parede e uma câmera Logitech C920 Full HD (1080p/30fps) posicionada a 2,25m da estrutura. O treinamento dos modelos de VC foi realizado em uma máquina de alto desempenho, enquanto a execução do GD ocorreu em um *desktop* (Core i7 7ª geração, 32 GB RAM, GTX 1050 Ti).

No nível lógico, o sistema foi desenvolvido em Python 3.10 com bibliotecas como NumPy e Pandas (para processamento e análise), OpenCV (para manipulação de imagens), YOLOv8m (para detecção), pmdarima (para previsão com *auto_arima*) e MySQL (para armazenamento de dados), além do Dash (para o *dashboard* interativo) e da plataforma Roboflow (para gestão de *datasets*). Essa *stack* centrada em Python provou-se garantir um ecossistema integrado, reproduzível e escalável, adequado para aplicações de GD baseadas em VC e análise de consumo de produtos em tempo quase real.

A Figura 2 ilustra o modelo conceitual geral do GD proposto. A integração dos blocos dentro da área pontilhada corresponde ao GD, que atua como um GD semiautônomo, ou seja, tem a função de apoiar os *stakeholders* na tomada de decisões de recarregamento por meio de sugestões baseadas em análises descritivas e preditivas.

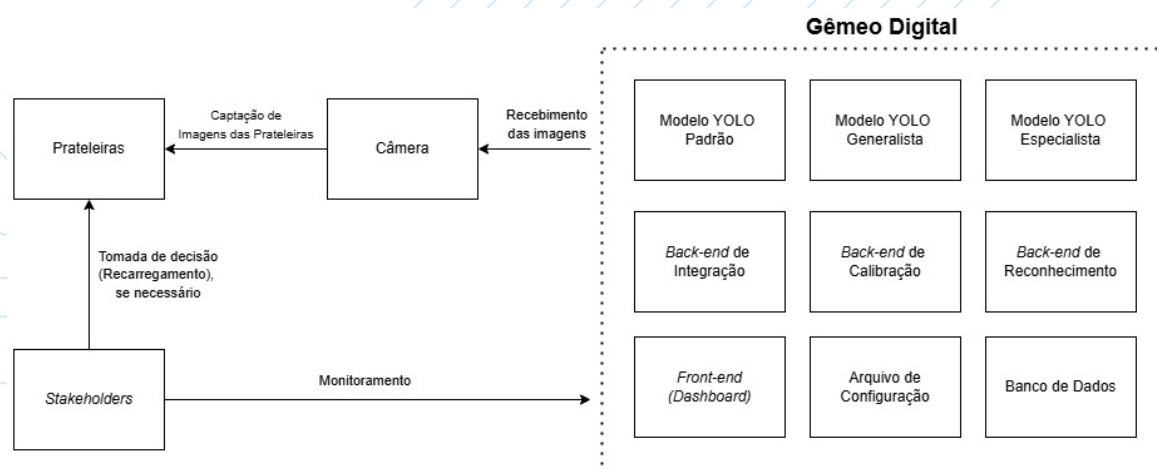
Ele foi proposto buscando atender as três características fundamentais para se ter um GD segundo Wright e Davidson (2020), que são: o monitoramento de um objeto ou sistema físico real (prateleiras), um modelo virtual que é ajustado dinamicamente de acordo com os dados captados (*dashboard*) e um fluxo evolutivo de dados que conectam os dois mundos (provido pelos modelos de VC com suporte às lógicas de *Back-end* e estruturas de armazenamento de dados).

O processo se inicia com a câmera realizando a captura de imagens das prateleiras com produtos. As imagens são recebidas em tempo real pelo GD, pois atuam como *inputs* fundamentais para a sua devida operação. Por meio do

processamento de dados e regras de negócio específicas (aqui, chamado de *Back-ends*), o modelo é capaz de se calibrar, reconhecer elementos e integrar rotinas internas a fim de prover os *outputs* necessários para orientação dos *stakeholders*.

Os modelos de VC YOLO Padrão, Generalista e Especialista dão suporte aos *Back-ends* de Calibração e Reconhecimento. Estes *Back-ends* são utilizados para ajustarem o GD para operarem adequadamente sobre as estruturas das prateleiras detectadas e para realizar a detecção de alterações no estado destas prateleiras, respectivamente. Recursos de armazenamento como um arquivo de configuração e um BD relacional são utilizados como suporte para armazenarem os *outputs* destas rotinas, que servirão como *input* de outras sub-rotinas e ao *Front-end (dashboard)* proposto.

Figura 2 - Modelo Conceitual Geral do GD proposto



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Uma vez calibrado, o GD estará apto a realizar o processo de reconhecimento de elementos (produtos e espaços vazios nas prateleiras) de forma adequada. Esta etapa é fundamental para se produzir dados que possibilitam calcular o índice de esvaziamento dos produtos que estão sendo monitorados. Este índice leva em consideração os *gaps* detectados nas prateleiras para se ter uma estimativa geral de como estes produtos vem sendo consumidos em tempo quase real localmente nestas estruturas. A equação 1 resume o cálculo do índice de esvaziamento proposto pelo

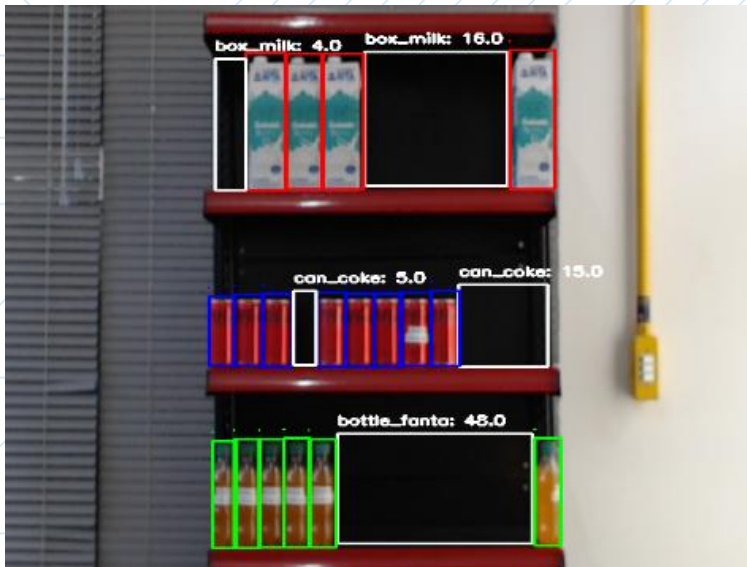
autor. Os pontos x_2 e x_1 são coordenadas extraídas das caixas delimitadoras dos espaços vazios detectados pelo algoritmo de VC.

$$\text{indice_de_esvaziamento}_p = \sum_{i=0}^{\text{numero_espaços}_p} \left(\frac{x_2^{(i,p)} - x_1^{(i,p)}}{\text{largura_media_produto}_p} \right) * \text{profundidade_produto}_p \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta um exemplo visual produzido pelo *Back-end* de reconhecimento do GD do cálculo de cada um dos *gaps* detectados nas prateleiras. Como pode ser visto, a soma dos valores produzidos para cada produto só pode orientar os *stakeholders* sobre quais produtos precisam de maior atenção no processo de recarregamento, como também pode ser usado para alimentar o algoritmo *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA), para previsões de consumos futuros.

Figura 3 - Cálculo do índice de esvaziamento individual de cada gap detectado

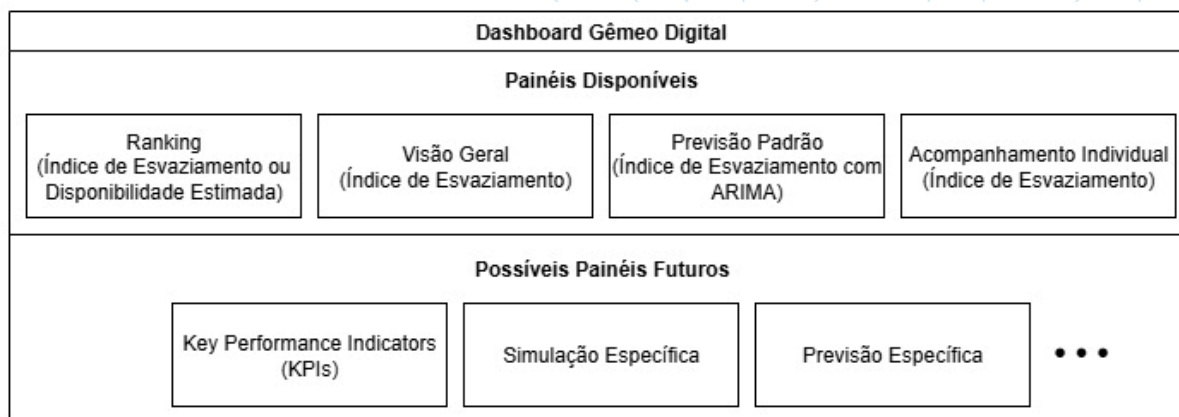


Fonte: elaborado pelo próprio autor

A Figura 4 ilustra a arquitetura do *dashboard* proposto para o GD. Nesta versão, 4 painéis foram disponibilizados pelo autor, 3 painéis descritivos e 1 painel preditivo. Esta arquitetura em painéis modulares foi proposta para permitir que em

trabalhos futuros novos painéis com informações pertinentes à tomada de decisão possam ser adicionados sob demanda.

Figura 4 - Painéis disponíveis atualmente no dashboard do GD e possíveis painéis futuros que poderão ser adicionados



Fonte: elaborado pelo próprio autor

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta desenvolvida demonstra que é possível construir um GD para monitoramento das prateleiras de varejo com baixo custo e alta aplicabilidade prática, integrando VC, BDs relacionais e análise de dados fazendo uso de recursos poderosos da linguagem Python. Ao oferecer uma abordagem que monitora *gaps*, estima disponibilidade de produtos e antecipa tendências de consumo com base em previsões, o GD amplia a capacidade de tomada de decisão dos *stakeholders* e reforça a viabilidade de soluções acessíveis para gestão de inventários e reposições mais assertivas.

REFERÊNCIAS

KRITZINGER, Werner; KARNER, Matthias; TRAAR, Georg; HENJES, Jan; SIHN, Wilfried. Digital Twin in Manufacturing: A Categorical Literature Review and Classification. **IFAC-Papersonline**, [S.L.], v. 51, n. 11, p. 1016-1022, 2018. Elsevier BV.

MESQUITA, Renzo P.; LEAL, Fabiano.; QUEIROZ, José Antônio de. Digital Twins in the Retail Industry: a systematic literature review. **International Journal Of**

Simulation Modelling, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 424-434, 31 ago. 2024. DAAAM International.

SANTOS, Carlos Henrique dos; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; QUEIROZ, José Antônio de; MIRANDA, Rafael de Carvalho; LEAL, Fabiano. Decision support in productive processes through DES and ABS in the Digital Twin era: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 60, n. 8, p. 2662-2681, 13 mar. 2021. Informa UK Limited.

WRIGHT, Louise; DAVIDSON, Stuart. How to tell the difference between a model and a digital twin. **Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1, 11 mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC.