

Uma Arquitetura de Digital Twin para Open Finance

João Eduardo Cosentino Bachmann
Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada – Faculdade de
Computação e Informática – Universidade
Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
0009-0005-1870-2101

Ismar Frango Silveira
Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada – Faculdade de
Computação e Informática – Universidade
Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
0000-0001-8029-072X

Valéria Farinazzo Martins
Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada – Faculdade de
Computação e Informática – Universidade
Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
0000-0002-5058-6017

Abstract— The convergence between Digital Twins and Open Finance brings new opportunities. Open Finance enables the collection and sharing of vast amounts of financial data among different market players, such as banks, fintechs, and other institutions. These data can be integrated into a Digital Twin, creating a digital replica of a customer, process, or financial system. This allows for the simulation of various scenarios, such as customer behavior in response to different financial products or services, predicting default trends, assessing credit risks, and optimizing service offerings. In this context, the present article discusses some DT architectures for Finance and presents an architecture specifically designed for Open Finance.

Keywords—Digital Twin; Architecture; Open Finance; **Resumo ou Resúmen—** A convergência entre Digital Twins e Open Finance traz novas oportunidades. O Open Finance possibilita a coleta e o compartilhamento de grandes quantidades de dados financeiros entre diferentes participantes do mercado, como bancos, fintechs e outras instituições. Esses dados podem ser integrados em um Digital Twin, criando uma réplica digital de um cliente, processo ou sistema financeiro. Isso permite a simulação de diversos cenários, como o comportamento do cliente em resposta a diferentes produtos ou serviços financeiros, a previsão de tendências de inadimplência, a avaliação de riscos de crédito e a otimização da oferta de serviços. Nesse contexto, o presente artigo discute algumas arquiteturas de DT para o setor financeiro e apresenta uma arquitetura especificamente projetada para Open Finance.

Palavras-chave—Digital Twin; Arquitetura; Open Finance.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização no setor financeiro tem revolucionado a gestão financeira de empresas e bancos, promovendo maior eficiência, crescimento e qualidade nos serviços. O foco inicial em estruturas bancárias tradicionais para o financiamento do comércio evoluiu para a valorização digital do dinheiro, impulsionada pelas tecnologias da Indústria 4.0 [1]. Entre essas tecnologias, destacam-se IoT, Computação em Nuvem, automação de processos robóticos (RPA), Inteligência Artificial, Blockchain e Digital Twins.

Os Digital Twins (DTs) e o Open Finance representam conceitos disruptivos que estão transformando o setor financeiro de maneiras complementares. O Digital Twin é uma réplica digital de um ativo físico, processo ou sistema, utilizada para simular, monitorar e prever seu comportamento em tempo real. Inicialmente aplicados em indústrias como

manufatura e construção, os DTs estão começando a ganhar espaço no setor financeiro, graças à capacidade de simular cenários, prever falhas e otimizar processos financeiros [2].

Já o Open Finance é uma evolução do Open Banking, em que o compartilhamento de dados financeiros entre instituições bancárias é ampliado para incluir uma gama mais diversa de produtos e serviços, como seguros, investimentos, planos de previdência e outros produtos financeiros. Essa abertura cria um ecossistema mais competitivo e inovador, facilitando o acesso a serviços personalizados e democratizando o mercado de crédito [3].

A convergência entre Digital Twins e Open Finance traz novas oportunidades. O Open Finance possibilita a coleta e o compartilhamento de uma enorme quantidade de dados financeiros entre diferentes players do mercado, como bancos, fintechs e outras instituições. Esses dados podem ser integrados em um Digital Twin, criando uma réplica digital de um cliente, processo ou sistema financeiro [2]. A partir disso, é possível simular diversos cenários, como o comportamento do cliente frente a diferentes produtos ou serviços financeiros, prever tendências de inadimplência, avaliar riscos de crédito e otimizar a oferta de serviços.

Além disso, o Open Finance contribui para a hiperpersonalização [4], permitindo que os Digital Twins criem perfis altamente detalhados dos clientes com base em dados financeiros agregados de várias fontes. Isso resulta em uma oferta de serviços financeiros mais direcionada e ajustada às necessidades individuais dos consumidores, tornando a experiência mais fluida e eficiente.

Por fim, a utilização de tecnologias como Blockchain no contexto de Digital Twins e Open Finance pode trazer mais transparência e segurança, fornecendo uma base descentralizada e auditável para o compartilhamento e rastreamento de dados [5]. Isso é crucial para garantir a confiabilidade e integridade das informações, um aspecto fundamental em ambientes regulados como o financeiro.

Em resumo, a combinação de Digital Twins e Open Finance tem o potencial de revolucionar o setor, oferecendo uma forma mais eficiente, transparente e personalizada de gerenciar e oferecer serviços financeiros.

A proposta de arquitetura presente no artigo aborda a integração de DT com o conceito de Open Finance, visando

otimizar o gerenciamento de dados financeiros e a criação de réplicas digitais de clientes, processos ou sistemas financeiros. Essa arquitetura tem como objetivo permitir simulações detalhadas de diferentes cenários, como o comportamento dos clientes diante de produtos financeiros, a previsão de tendências de inadimplência e a avaliação de riscos de crédito. Através do compartilhamento de grandes volumes de dados financeiros entre bancos, fintechs e outras instituições, o Open Finance possibilita a construção de modelos de DTs altamente personalizados.

Esta proposta é estruturada em camadas que lidam com a aquisição de dados, processamento e análise com técnicas de IA, e a visualização e interação com os DTs, permitindo que os usuários finais (clientes ou bancos) possam tomar decisões financeiras mais informadas e personalizadas, otimizando serviços como análise de crédito e gestão de fraudes.

Este artigo está estruturado como segue. A Introdução apresenta a convergência entre Digital Twins e Open Finance e as oportunidades no setor financeiro. A sessão seguinte, Contextualização, discute o uso de Digital Twins em diversos setores, destacando a relevância para o setor financeiro e o papel do Open Finance. A seção 3, Proposta de Arquitetura, descreve a arquitetura proposta para integrar DT com Open Finance, dividida em camadas de dados, processamento, serviços e visualização.. Por fim, a Conclusão resume os benefícios da arquitetura proposta, como personalização de serviços e melhor gestão de riscos financeiros.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A maioria das pesquisas científicas sobre Digital Twins (DTs) está focada em aplicações na Indústria 4.0, como sistemas ciberfísicos, virtualização de modelos ou processos industriais com Realidade Aumentada e Realidade Virtual, havendo poucas abordagens relacionadas ao uso de DTs no setor de FinTech (tecnologia financeira) [5]. No entanto, o mercado financeiro está cada vez mais inclinado a adotar DTs, posicionando-se logo atrás dos setores automotivo, de construção e manufatura, como relatado por [6], que mostra um caso de uma empresa global especializada em software, simulação, computação de alta performance (HPC), Inteligência Artificial e análise de dados. Instituições financeiras e bancárias estão utilizando DTs combinados com algoritmos de Machine Learning para identificar comportamentos, preferências individuais, tolerância a riscos e metas financeiras [7]. Mais recentemente, o advento do open banking e do open finance trouxe ao setor financeiro o conceito de compartilhamento de dados, o que representa uma grande oportunidade para impulsionar a evolução dos Digital Twins, especialmente em bancos e instituições de crédito, cujos maiores riscos estão associados ao crédito, fator crítico de instabilidade financeira [3].

Em um artigo da NTT Data, Chan [8] destaca a capacidade dos DTs de representar o mundo real no ambiente digital em tempo real no setor financeiro. Eles podem replicar ativos financeiros e físicos, processos e sistemas financeiros de bancos e empresas. Essa representação digital permite

simular cenários, prever falhas, otimizar processos e tomar decisões mais informadas. Com essa versatilidade, as aplicações dos DTs nas finanças são amplas, incluindo:

1. Melhoria da Experiência do Cliente: DTs podem criar perfis personalizados de clientes, permitindo que bancos ofereçam produtos e serviços sob medida, antecipem necessidades e ofereçam soluções proativas.

2. Aumento da Eficiência Operacional: Simulações otimizam processos bancários, como análise de crédito, gestão de fraudes e operações de back-office, reduzindo custos e tempo.

3. Gerenciamento de Riscos: Com a análise de dados em tempo real e simulação de cenários de risco, DTs auxiliam na identificação e mitigação de riscos, como fraudes, inadimplência e instabilidade de mercado.

4. Desenvolvimento de Novos Produtos e Serviços: DTs podem ser usados para testar novos produtos e serviços em ambientes virtuais antes de seu lançamento, minimizando custos e riscos.

5. Conformidade Regulatória: DTs ajudam a garantir compliance com regulamentações complexas, fornecendo registros auditáveis de atividades e transações.

6. Detecção de Fraude: Monitorando transações em tempo real e identificando padrões suspeitos, DTs aumentam significativamente a capacidade de bancos para prevenir fraudes.

Atualmente, a maioria dos sistemas financeiros ainda mantém uma estrutura de dados centralizada, na qual o controle dos dados está nas mãos de poucos responsáveis [9], o que contraria os objetivos da FinTech, que busca a democratização e transparência financeira mencionadas por [5]. Para resolver esse problema, o uso da tecnologia Blockchain pode ser uma solução, já que sua estrutura descentralizada de armazenamento de dados contribui para essa democratização [10]. Além do setor financeiro, a maioria dos Digital Twins também depende de uma estrutura centralizada dos sistemas ao seu redor. No entanto, ao estruturar DTs com base em Blockchain, é possível fornecer recursos como proveniência, auditoria e rastreabilidade de dados de forma confiável [11].

Embora a implementação de DTs seja complexa, principalmente devido à necessidade de sincronização em tempo real entre as entidades do Digital Twin [5], as arquiteturas de Computação em Nuvem atuais e sua integração aos sistemas financeiros são essenciais para sua viabilidade. A digitalização no setor financeiro, impulsionada por tecnologias como IoT, Computação em Nuvem, RPA, IA e Blockchain, está redefinindo a eficiência e segurança das operações. Por fim, os DTs têm o potencial de desempenhar um papel fundamental nessa transformação, proporcionando uma plataforma para gestão de ativos, simulação, previsão e otimização de processos financeiros [1], permitindo decisões mais precisas e eficazes nas instituições financeiras.

2.1 DTs em Aplicações Não-3D

[12] define Digital Twins de forma mais ampla, caracterizando-os como modelos de software no mundo virtual que operam em tempo real e são interoperáveis com suas contrapartes no mundo físico, abrangendo todo o ciclo de vida da entidade representada. Dessa maneira, um DT pode representar, por exemplo, um indivíduo que produz dados por meio de dispositivos móveis inteligentes (com conectividade IoT, 4G/5G), permitindo a coleta de informações relacionadas a finanças, saúde e atividades físicas, que podem ser mapeadas em sua contraparte virtual [5].

No contexto de cadeias de suprimentos, os DTs têm sido aplicados para mitigar riscos financeiros, de fornecimento e de produção [13]. O conceito de “supply chain finance” refere-se a iniciativas de crédito por parte de compradores e vendedores, com o objetivo de gerar liquidez em operações de cadeias de suprimentos [14]. [13] descrevem o uso de DTs nesse campo como uma representação digital da cadeia de suprimentos, oferecendo visibilidade em tempo real e de ponta a ponta. Os DTs aplicados às cadeias de suprimentos, denominados SC DTs (Supply Chain Digital Twins), são caracterizados como descritivos, preditivos e prescritivos [15]. Para atingir esses objetivos, é necessário que os DTs estejam conectados em tempo real (ou quase real) com a cadeia física, sistemas externos e bancos de dados, além de incorporarem análises avançadas e simulações que otimizem os processos de gestão da cadeia de suprimentos.

Portanto, ainda que o conceito de Digital Twin tenha surgido inicialmente da necessidade de virtualizar modelos tridimensionais, verifica-se atualmente a expansão de seu uso em aplicações que não exigem necessariamente uma representação visual 3D para operar de forma eficaz.

2.2 DT no Contexto Financeiro

A rápida adoção global da FinTech tem impulsionado a evolução de diversos serviços financeiros inovadores, acessíveis a qualquer pessoa com um smartphone e conexão à Internet [16]. Esse fenômeno tem gerado uma produção maciça de dados, consolidando a FinTech como um campo que combina finanças e tecnologia digital [5], abrindo novas oportunidades para a aplicação dos DTs. Os DTs, como representações virtuais baseadas em dados reais de entidades físicas (processos, sistemas ou artefatos), utilizam simulação e análise de dados para a tomada de decisões, tornando o setor financeiro, incluindo bancos e instituições de crédito, um ambiente propício para sua aplicação [17]. O sucesso da FinTech é atribuído à integração de IA, big data e necessidades do mundo real por serviços financeiros mais eficientes [5].

A regulamentação e padronização para a abertura de dados entre instituições, implementada no Brasil como Open Finance, que representa um avanço em relação à regulamentação internacional Open Banking, amplia as oportunidades para o desenvolvimento de novos negócios no

setor financeiro, criando um ambiente mais competitivo para as instituições e empresas atuantes nesse mercado [18]. A vasta quantidade de dados e informações disponibilizadas com a adoção desse sistema possibilita a exploração de um dos principais benefícios do Open Finance: a democratização do mercado de crédito e a hiperpersonalização de serviços financeiros. Alguns exemplos desses produtos e serviços incluem cartões de crédito e programas de recompensas, concessão de crédito, planos previdenciários, investimentos, financiamentos, entre outras possibilidades.L

Como discutido anteriormente, os DTs representam inovações tecnológicas avançadas e promissoras, permitindo a criação de réplicas virtuais de sistemas físicos para monitoramento, análise e otimização. No setor financeiro, suas aplicações incluem contas correntes, empréstimos, investimentos, detecção de fraudes e gerenciamento de riscos. Muitas instituições já utilizam IA em operações internas, como a detecção de fraudes em cartões de crédito [16]. Assim, no setor financeiro, os DTs podem assumir quatro dos cinco tipos identificados por [19]: Asset DT (ADT), Process DT (PDT), System DT (SDT) e Organization DT (ODT). Esses tipos de DTs podem ser aplicados ao contexto financeiro da seguinte forma:

- **Asset DT:** Réplicas virtuais de ativos físicos ou financeiros, como carteiras de investimentos ou infraestruturas de TI.
- **Process DT:** Modelos digitais de processos operacionais, como a aprovação de empréstimos ou a gestão de fraudes.
- **System DT:** Representações virtuais de sistemas financeiros, como plataformas de pagamento.
- **Organization DT:** Réplicas digitais da organização, simulando cenários econômicos e auxiliando na gestão de riscos e conformidade regulatória.

Esses diferentes tipos de DTs podem ser representados em um modelo genérico aplicado aos serviços financeiros.

Os resultados obtidos com o uso de Digital Twins (DTs) em contextos específicos, que não envolvem visualização tridimensional (3D), bem como na área financeira, serão apresentados a seguir.

Para aplicações no setor financeiro, este trabalho propõe que DTs sejam utilizados como ferramentas/serviços de tomada de decisões assistida, cujo objetivo é gerar outputs para análise avançada de dados. A exemplo, [20], propõe um DT de cartão de crédito, que atua auxiliando no serviço de detecção de fraudes. A seguir, propõe-se quatro etapas para a construção de um DT em finanças, com base nos modelos apresentados e na arquitetura genérica de três camadas da Fig. 1 [21].

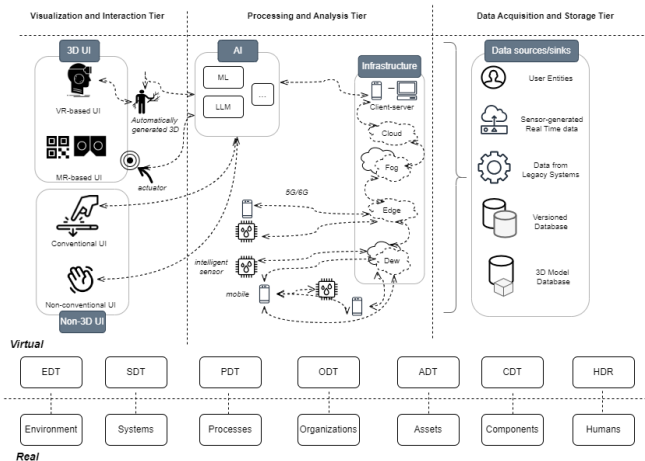


Fig. 1. Arquitetura de três camadas de uso geral (Fonte: [21])

Aquisição e Armazenamento de Dados: A coleta de dados por parte do DT, pode ser feita tanto em processamento Batch (com grandes lotes de dados) ou em Streaming (injeção de dados em tempo real). Pipelines modernas de Big Data dispõem diversas ferramentas para realizar o processo de ETL (Extract-Transform-Load) das estruturas de dados internos, Data Lakes para grande volumes de dados, e Data Warehouses para dados mais concisos. Bancos e instituições financeiras armazenam uma quantidade significativa de dados sobre seus clientes, incluindo informações pessoais, transações financeiras, histórico de crédito e outras informações relacionadas às suas atividades bancárias. Estes podem ser estruturados, armazenados em tabelas nos bancos de dados relacionais (SQL), mas também podem ser do tipo semi, ou não estruturado (NoSQL).

Infraestrutura e Processamento de Dados: Nesta etapa APIs de Big Data coletam os dados dos bancos de dados internos das instituições e enviam para a infraestrutura de nuvem do DT que pode ser através de um serviço de armazenamento de objetos, assim podem receber dados estruturados, semi-estruturados e não estruturados. Após serem devidamente processados, são direcionados para os pipelines de modelos de IA, armazenados e rodando como serviço na estrutura de nuvem. Devido a sensibilidade dos dados que são tratados nessas aplicações, dentro da nuvem, DTs podem ser estruturados em blockchain para armazenar os dados processados, assim, garantindo total rastreabilidade, transparência, imutabilidade, segurança e gerenciamento de identidades no acesso das informações. Este último, ainda, propõe uma estrutura de blockchain com aprendizado federado como exposto na Fig. 2, permitindo a colaboração de diferentes times para elaborar um modelo de IA mais preciso, sem comprometer a segurança dos dados.

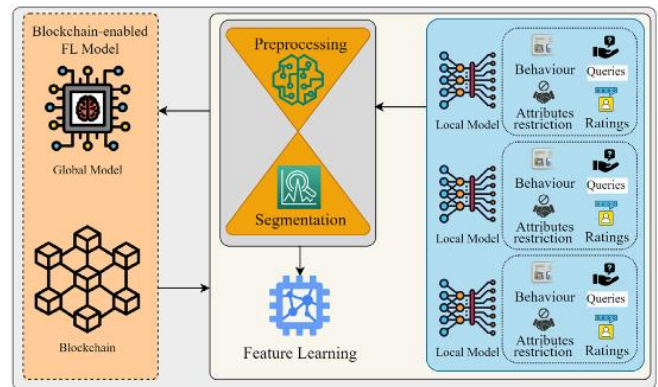


Fig. 2. Estrutura combinada de Blockchain com Aprendizado Federado (Fonte: [20]).

Serviços: Esta camada é responsável por consolidar os dados processados e utilizados para treinar os modelos de IA da camada anterior e transformar em saídas significativas, a fim de oferecer essas às diferentes aplicações possíveis para DTs em finanças, como mostra a Fig. 3. A exemplo, para um DT que irá atuar como um robo-advisor, esta camada é responsável por consolidar as saídas dos modelos de IA que utilizam técnicas de Aprendizado por Reforço e Aprendizado Profundo, gerando sugestões de investimentos, mudanças de hábitos do consumidor, empréstimos, financiamentos, produtos relacionados a cartões de crédito e seguros.

Visualização: para esta proposta, o suporte à visualização e interação dos usuários com os DTs é feita exclusivamente através de sistemas e aplicativos de software com interfaces convencionais. Os usuários podem interagir com os DTs através dos sistemas e aplicativos criados, criar relatórios, fazer simulações, gerar previsões de resultados, realizar análise avançada de dados com dashboards, e a depender da aplicação como é o caso do robo-advisor, o usuário pode interagir com o DT via comunicação textual pelo aplicativo.

A Fig. 3 apresenta um modelo de DT para atuar como provedor de serviços bancários, bem como seu fluxo de comunicação, onde é possível ver em suma, como se dá a transformação dos dados produzidos, em conhecimento para o cliente final. O modelo abaixo considera o DT como parte integrante dos serviços que o banco provém, capturando informações em tempo real, produzidas pelos clientes, assim a entidade virtual e sua contraparte real estarão sempre alinhadas. A partir disso as informações geradas pelo Digital Twin, são então utilizadas como novos modelos de negócios para a instituição, gerando diferentes tipos de conhecimentos para o cliente final.

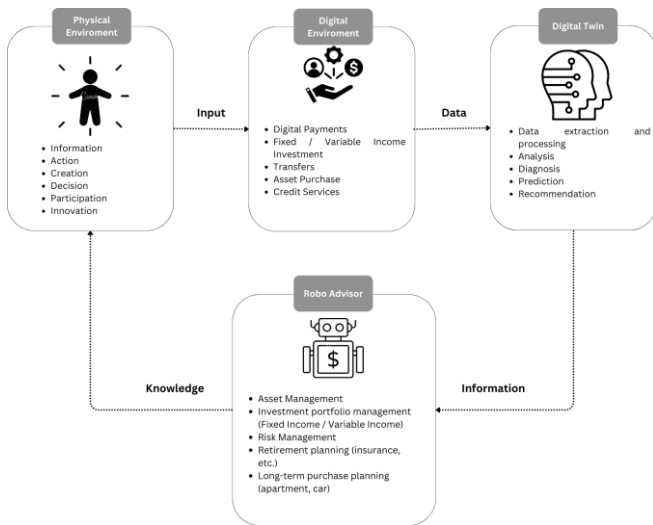


Fig. 3. Integração de um DT Robo-Advisor como sistema financeiro (Fonte: [23]).

3. Proposta de Arquitetura DTs no Contexto de Open Finance

No campo econômico e financeiro, é amplamente aceito que as famílias e empresas utilizam parte de sua renda para consumo, muitas vezes recorrendo ao crédito ao invés de pagamentos em dinheiro [1]. Esse processo, que aparenta ser simples, envolve uma complexidade significativa para o sistema econômico, pois as instituições financeiras oferecem crédito na expectativa de que receberão de volta o valor emprestado acrescido de juros. Esse ciclo, no entanto, envolve riscos consideráveis, principalmente o risco de crédito, identificado como um dos principais fatores que afetam a performance financeira dos bancos [22].

Um ponto comum na literatura econômica/financeira é que os agentes (famílias/empresas) gastam parte de sua renda em consumo. Embora esse processo pareça ser muito simples e ter pouca importância para o sistema econômico como um todo, na verdade não é nada simples porque os agentes - principalmente as economias familiares - não pagam em dinheiro na maioria das vezes, mas usam crédito [1]. Conseqüentemente, em termos simples, as instituições financeiras oferecem crédito para os agentes (famílias) porque acreditam que receberão o mesmo valor mais uma quantia adicional por fornecer esse crédito, e podem então emprestar esse capital a outros agentes (empresas) para a expansão dos negócios. Esse tipo de operação, que é bastante comum, pode oferecer alto risco para as instituições, e de fato, de acordo com [21], dentro do gerenciamento de riscos bancários, o risco associado ao crédito é identificado como sendo um dos que mais afeta a performance financeira dos bancos. A literatura normalmente identifica três elementos principais de risco na modelagem de risco de crédito: Probability of default (Probabilidade de Inadimplência),

Exposure at default (Exposição à Inadimplência) e Loss Given a Default (Perda por Inadimplência) [23].

A avaliação do risco de crédito geralmente é feita com base em modelos estatísticos, que utilizam uma ampla gama de dados, como informações demográficas e histórico de crédito [3]. A falta de dados sobre um cliente pode resultar em uma avaliação inadequada de risco, levando a dificuldades no acesso ao crédito ou a um aumento na inadimplência. O advento do Open Finance no Brasil, uma evolução do Open Banking, oferece uma solução para mitigar os problemas associados ao risco de crédito, promovendo a inclusão financeira e a democratização do acesso ao crédito. Segundo a Resolução Conjunta No 1, publicada pelo Banco Central do Brasil [24], em 2020, o Open Finance estabelece o compartilhamento padronizado de dados e serviços por meio da integração de sistemas no setor financeiro.

Através das APIs disponibilizadas pelo Open Finance, as instituições financeiras têm acesso a uma série de dados valiosos, incluindo informações sobre cartões de crédito, contas bancárias, operações de crédito e investimentos, permitindo uma análise mais precisa do risco de crédito. Com isso, há uma maior possibilidade de redução das taxas de juros para clientes que optarem por compartilhar seus dados, além de uma diminuição do risco de inadimplência [23].

[20] propõem o uso de DTs para a criação de réplicas digitais de contas de crédito, que poderiam auxiliar na prevenção de fraudes bancárias e também na avaliação de crédito. O uso de DTs em conjunto com IA e modelos de Deep Learning permitiria extrair informações mais relevantes para a análise de risco de crédito, apresentando resultados superiores aos obtidos por métodos tradicionais baseados em especialistas [3].

Nesse contexto, propõe-se a criação de DTs baseados nos dados compartilhados pelo Open Finance, criando uma réplica virtual da conta do cliente, capaz de acompanhar suas transações históricas e analisar seu comportamento financeiro ao longo do tempo. Com essa abordagem, as instituições financeiras poderiam realizar avaliações mais precisas e personalizadas, oferecendo produtos de crédito com condições mais adequadas às necessidades dos clientes, como menores taxas de juros e prazos mais flexíveis.

A Figura 4 apresenta uma proposta de arquitetura para a aplicação de DTs no contexto Financeiro, demonstrando os componentes e principais elementos necessários para a implementação dessa tecnologia no setor financeiro, desde a aquisição e processamento de dados até a geração de outputs baseados em simulações e análises avançadas.

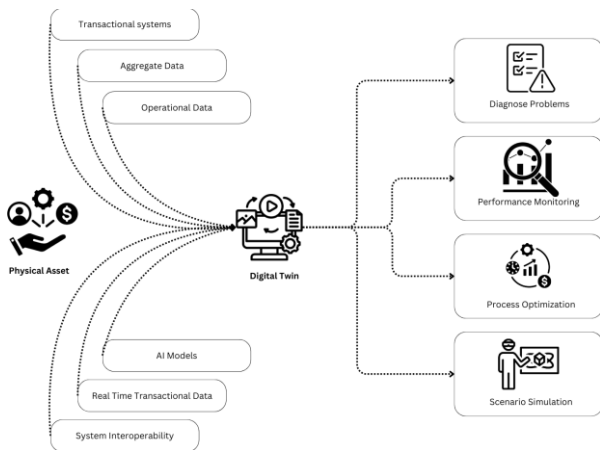


Fig. 4. Arquitetura de DT para Finanças

Com o acesso ao histórico financeiro do consumidor, é possível que as instituições participantes do Open Finance tenham mais precisão na análise de risco para concessão do crédito. Deste modo, aumenta-se a possibilidade de redução de taxas de juros para aqueles que disponibilizarem seus dados, além de diminuir o risco de default bancário [25].

Para a aplicação em questão, propõe-se um DT que com base nos dados compartilhados por meio do Open Finance, cria modelo virtual do cliente. O DT será uma cópia virtual da conta real do cliente, podendo acompanhar todas as movimentações históricas, dessa forma será possível analisar o comportamento do cliente de acordo com suas operações realizadas ao longo do tempo. Além dos dados do Open Finance, o DT pode contar com dados históricos da instituição com a qual o cliente decide compartilhar seus dados, caso o cliente tenha uma relação prévia com a instituição. A ideia é que o cliente quando aderir ao Open Finance, permita que a instituição tenha mais informações sobre si, e através do DT, a instituição possa realizar operações mais precisas, oferecendo produtos de crédito mais personalizados e condizentes com sua realidade, menores taxas de juros e prazos mais adequados.

Com base no primeiro modelo de arquitetura apresentado pelo Industrial Internet Consortium de 2020, mostrado na Fig. 5, foi desenvolvida a arquitetura de referência apresentada na Fig. 6. Onde o intuito é mostrar os componentes e os principais elementos de cada componente para que seja possível a aplicação de Digital Twins com base no Open Finance. Nela estão descritas as etapas relacionadas a aquisição dos dados, ao processamento e análise estatísticas, desenvolvimento de modelos e a geração de outputs.

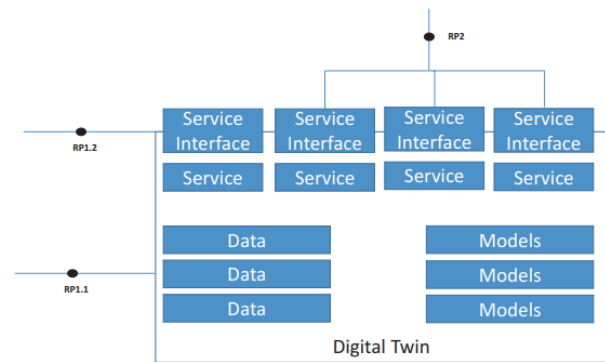


Fig. 5. Modelo de DT básico (Baseado no Modelo IIC [26])

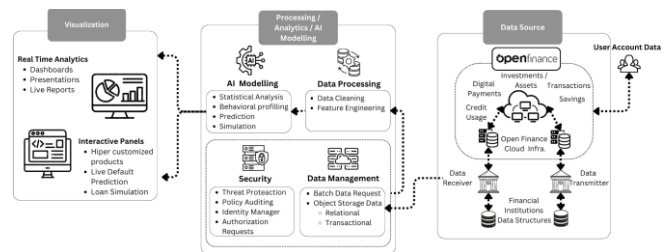


Fig. 6. Arquitetura para Aplicação de DTs no Open Finance

A Fig. 6 apresenta uma arquitetura proposta para a aplicação de Digital Twins (DTs) no contexto do Open Finance, estruturada em três principais componentes: aquisição de dados, processamento e análise e geração de outputs.

- **Aquisição de Dados:** A arquitetura inicia com a coleta de dados financeiros a partir das APIs do Open Finance, abrangendo dados transacionais e históricos dos clientes, que são processados em tempo real e armazenados em nuvens seguras.
- **Processamento e Análise:** Os dados adquiridos são processados em pipelines de Inteligência Artificial (IA) que utilizam técnicas avançadas, como aprendizado de máquina, para realizar análises preditivas e diagnósticos em tempo real. Este processamento é apoiado por tecnologias de blockchain, que garantem a segurança e a rastreabilidade dos dados processados, oferecendo um ambiente confiável para o tratamento de informações sensíveis.
- **Geração de Outputs:** A partir dos modelos gerados na camada de processamento, os DTs são capazes de oferecer insights e recomendações que otimizam a tomada de decisões financeiras. Esses outputs podem incluir simulações de cenários de risco, recomendações de crédito personalizadas e

sugestões de produtos financeiros específicos para os clientes.

4. CONCLUSÃO

Este artigo explorou a integração de Digital Twins (DTs) no contexto do Open Finance, destacando como essas tecnologias podem transformar o setor financeiro. A proposta de uma arquitetura para DTs focada em finanças demonstra o potencial para simulação de cenários, avaliação de riscos de crédito, detecção de fraudes e personalização de serviços. Ao permitir a criação de réplicas digitais de clientes, processos e sistemas financeiros, os DTs viabilizam uma abordagem mais eficiente e precisa para a tomada de decisões no ambiente bancário.

A principal contribuição deste trabalho está na concepção de uma arquitetura de três camadas que integra Open Finance com DTs, otimizando a coleta e processamento de dados financeiros em tempo real. Isso permite a simulação de diferentes cenários e a oferta de produtos financeiros personalizados, atendendo melhor às necessidades dos consumidores e otimizando a gestão de riscos.

No entanto, algumas limitações foram identificadas, como a dependência de infraestrutura robusta e a necessidade de garantir a segurança e privacidade dos dados no compartilhamento entre diferentes instituições financeiras. A complexidade de sincronizar entidades físicas e digitais em tempo real também representa um desafio técnico, exigindo investimentos significativos em tecnologia e processos.

Como trabalho futuro, sugere-se explorar a implementação de DTs em outras áreas do setor financeiro, como seguros e investimentos, além de investigar como a tecnologia blockchain pode ser integrada para aumentar a transparência e segurança nas operações financeiras. Adicionalmente, estudos empíricos sobre a eficácia da arquitetura proposta podem ser realizados para validar os benefícios teóricos discutidos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão à empresa Teros pelo apoio financeiro e tecnológico essencial para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. F. Barboza, H. Kimura, V. A. Sobreiro, and L. F. C. Basso, "Credit risk: from a systematic literature review to future directions," *Corporate Ownership and Control*, vol. 13, no. 3, pp. 326-346, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22495/cocv13i3c2p6>.
2. E. Badakhshan and P. Ball, "Applying Digital Twins for Inventory and Cash Management in Supply Chains under Physical and Financial Disruptions," *International Journal of Production Research*, vol. 61, no. 15, pp. 5094-5116, Aug. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2093682>.
3. L. O. Hjelkrem, P. E. De Lange, and E. Nettet, "The Value of Open Banking Data for Application Credit Scoring: Case Study of a Norwegian Bank," *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 15, no. 12, p. 597, Dec. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jrfm15120597>.
4. D. Drummond and A. Gonsard, "Patient digital twins: an introduction based on a scoping review," *medRxiv*, Feb. 2024.
5. M. Anshari, M. N. Almunawar, and M. Masri, "Digital Twin: Financial Technology's Next Frontier of Robo-Advisor," *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 15, no. 4, p. 163, Apr. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jrfm15040163>.
6. Altair, "2023 Global Digital Twin Survey Report - Vertical Breakdown: Banking, Financial Services and Insurance," 2023. [Online]. Available: <https://altair.com/resource/2023-digital-twin-survey-report-vertical-breakdown-bfsi>. [Accessed: Jul. 28, 2024].
7. J. McKendrick, "Banks Increasingly Use Digital Twins for Behavioral Modeling," *RTInsights*, 2023. [Online]. Available: <https://www.rtinsights.com>. [Accessed: Sep. 19, 2024].
8. NTT Data, "Digital Twins and the important role they play in the banking industry," 2024. [Online]. Available: <https://www.nttdata.com/sg/en/news/2023/january/digital-twins-and-the-important-role-they-play-in-the-banking-industry>.
9. J. R. Varma, "Blockchain in Finance," *Vikalpa: The Journal for Decision Makers*, vol. 44, no. 1, pp. 1-11, Mar. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/0256090919839897>.
10. D. Bisht et al., "Imperative Role of Integrating Digitalization in the Firms Finance: A Technological Perspective," *Electronics*, vol. 11, no. 19, p. 3252, Oct. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/electronics11193252>.

11. H. R. Hasan et al., "A Blockchain-Based Approach for the Creation of Digital Twins," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 34113–26, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974810>.
12. S. Zacher, "Digital twins for education and study of engineering sciences," *International Journal on Engineering, Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 61-69, 2020.
13. E. Badakhshan and P. Ball, "Applying Digital Twins for Inventory and Cash Management in Supply Chains under Physical and Financial Disruptions," *International Journal of Production Research*, vol. 61, no. 15, pp. 5094-5116, Aug. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2093682>.
14. M. L. Gomm, "Supply Chain Finance: Applying Finance Theory to Supply Chain Management to Enhance Finance in Supply Chains," *International Journal of Logistics: Research and Applications*, vol. 13, no. 2, pp. 133-142, 2010.
15. D. Burgos and D. Ivanov, "Food Retail Supply Chain Resilience and the COVID-19 Pandemic: A Digital Twin-Based Impact Analysis and Improvement Directions," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 152, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102412>.
16. J. Nicholls, A. Kuppa, and N. A. Le-Khac, "Financial Cybercrime: A Comprehensive Survey of Deep Learning Approaches to Tackle the Evolving Financial Crime Landscape," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 163965–86, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3134076>.
17. Armstrong, "Digital Twin: Financial Technology's Next Frontier of Robo-Advisor," 2020.
18. L. S. D. Nagli, *Resolução Conjunta Nº 1, 2020*, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2023.
19. A. G. Siqueira, A. Cardoso, V. F. Martins, and I. F. Silveira, "From Virtual Reality to Digital Twins: The Long and Winding Road," in *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, 2024.
20. P. Chatterjee, D. Das, and D. B. Rawat, "Digital Twin for Credit Card Fraud Detection: Opportunities, Challenges, and Fraud Detection Advancements," *Future Generation Computer Systems*, vol. 158, pp. 410–26, Sep. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.04.057>.
21. V. F. Martins, J. E. C. Bachmann, A. Cardoso, and I. F. Silveira, "A three-tiered architectural model for Digital Twins in Education," in *VI Workshop de Modelagem e Simulação de Sistemas intensivos em Software - CBSoft 2024*, 2024, [Manuscript accepted for publication].
22. R. Boffey and G. N. Robson, "Bank credit risk management," *Managerial Finance*, vol. 21, pp. 66–78, 1995. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb018497/full/html>.
23. M. Doumpos, C. Lemonakis, D. Niklis, and C. Zopounidis, "Analytical techniques in the assessment of credit risk," in *EURO Advanced Tutorials on Operational Research*, Cham: Springer International Publishing, 2019.
24. Brasil, "Resolução Conjunta No 1, de 4 de maio de 2020," Banco Central do Brasil, Brasília, DF, 2020. [Online]. Available: <https://www.bcb.gov.br>. [Accessed: Sep. 19, 2024].
25. R. G. G. Ramos et al., "A importância da consolidação dos dados financeiros no contexto do open finance para a inovação de produtos e serviços," *Revista de Gestão e Secretariado*, vol. 15, no. 2, Feb. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i2.3524>.
26. INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM (IIC), "Digital twins for industrial applications," 2020. [Online]. Available: https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf. [Accessed: Jan. 22, 2023].