

PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE GÊMEOS DIGITAIS NA ADMINISTRAÇÃO FINANCEIRA PÚBLICA: UM MODELO PARA O CONTROLE INTERNO NA GESTÃO DO PROGRAMA DE VACINAÇÃO BRASILEIRO

PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE GEMELOS DIGITALES EN LA ADMINISTRACIÓN FINANCIERA PÚBLICA: UN MODELO DE CONTROL INTERNO EN LA GESTIÓN DEL PROGRAMA BRASILEÑO DE VACUNACIÓN

PROPOSAL FOR APPLICATION OF DIGITAL TWINS IN PUBLIC FINANCIAL ADMINISTRATION: A MODEL FOR INTERNAL CONTROL IN THE MANAGEMENT OF THE BRAZILIAN VACCINATION PROGRAM

Anderson de Oliveira Ribeiro*,**
andersonribeiro@ugb.edu.br

Nilson Brandalise**
nilson_01@yahoo.com.br

Francisco Santos Sabbadini**
franciscosabbadini@gmail.com

Kelly Alonso Costa**
kellyalonso@id.uff.br

*Centro Universitário Geraldo Di Biase, Volta Redonda/RJ, Brasil
**Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/RJ, Brasil

Resumo

Neste artigo é apresentada uma proposta de aplicação de um gêmeo digital integrado ao Sistema de Informação do programa nacional de imunização do ministério da saúde do Brasil. A aplicação do gêmeo digital trás um ganho de eficiência e eficácia para a gestão do programa de imunização e para os organismos de controle da administração pública por análise de indicadores de qualidade em tempo real. Os pontos vantajosos são a otimização da aplicação das vacinas, redução do desperdício de doses e troca de fabricantes entre a primeira e segunda dose, atualização do cadastro nacional do cartão SUS e a mitigação de fraudes na fila de aplicação de vacinas. Discutimos o custo de implementação e suas dificuldades em relação aos benefícios propiciados pelo modelo e o impacto futuro do gêmeo digital no programa nacional de imunização.

PALAVRAS CHAVE: controle, administração pública, gêmeo digital, vacina

Resumen

Este artículo presenta una propuesta para la aplicación de un gemelo digital integrado en el Sistema de Información del programa nacional de inmunización del Ministerio de Salud de Brasil. La aplicación del gemelo digital aporta una ganancia en eficiencia y eficacia para la gestión del programa de inmunización y para los órganos de control de la administración pública al analizar indicadores de calidad en tiempo real. Las ventajas son optimizar la aplicación de vacunas, reducir las dosis perdidas y cambiar de fabricante entre la primera y la segunda dosis, actualizar el

registro de la tarjeta del SUS nacional y mitigar el fraude en la cola de aplicación de vacunas. Discutimos el costo de implementación y sus dificultades en relación con los beneficios que brinda el modelo y el impacto futuro del gemelo digital en el programa nacional de inmunización.

PALABRAS CLAVE: control, administración pública, gemelo digital, vacuna

Abstract

In this work is presented a proposal for the application of a digital twin integrated into the Information System of the national immunization program of the Brazilian Ministry of Health. The application of the digital twin is a gain in efficiency and effectiveness for the management of the immunization program and the control bodies of the public administration through the analysis of quality indicators in real-time. The advantages are optimizing the application of vaccines, reducing wasted doses and changing manufacturers between the first and second doses, updating the national registration of the SUS card, and mitigating fraud in the vaccine application queue. We discuss the cost of implementation and its difficulties concerning the benefits provided by the model and the future impact of the digital twin on the national immunization program..

KEYWORDS: control, public administration, digital twin,vaccine

1. Introdução

Em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, província de Hubei, China ocorreu um surto de pneumonia de origem desconhecida. Estudos ligaram esta pneumonia aguda, conhecida como COVID-19, a ação da infecção resultante do coronavírus SARS-CoV-2. A disseminação global do SARS-CoV-2 levou a Organização Mundial da Saúde a declarar uma pandemia em 12 de março de 2020 (CIOTTI, Marco et al., 2020). Dentre as das principais ações propostas WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. (2020) para o controle da pandemia COVID-19 é a ampla vacinação e com uma rápida imunização da população nos permitirá ter uma menor preocupação com o distanciamento social e todas as suas grandes implicações socioeconômico desta medida (MANDAL, Manotosh et al., 2020).

Neste momento¹, existe uma escassez mundial de vacinas e uma incapacidade de a cadeia produtiva suprir essa necessidade e como amplamente veiculado nos mesmo de comunicação (MACIEL, Ethel Leonor Noia, 2021) de grande circulação desperdício de doses, pessoas sem prioridade passando à frente de outros grupos, troca de tipos de vacinas na aplicação da segunda dose e como consequência preciosos recursos públicos estão sendo desperdiçados. No cenário apresentado toda e qualquer tecnologia deve ser explorada, teórica e praticamente, na otimização da gestão do plano nacional de imunização(TEMPORÃO, J. G., 2003) para mitigar o desperdício das doses aplicadas, combater fraudes e redução de custos.

A aplicação de todo avanço tecnológico vindo da década de 90 do século XX aos meios de produção desenvolvidos ao longo da terceira revolução industrial levou nossa sociedade a vivenciar profundas transformações que chamamos de quarta revolução industrial, esta revolução está planificada no conceito de Indústria 4.0 (ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng., 2015). Na prática esta quarta revolução é a convergência de todas as tecnologias no aprimoramento, automação e otimização da manufatura, tornando realidade a chamada “fábrica inteligente” (SHI, Zhan et al, 2020). O resultado de ganho de eficiência, desempenho, qualidade e produtividade lousado pela manufatura ativa rapidamente foi absorvida pelas áreas de gestão e serviços. (DE SOUZA SILVA JUNIOR, Daniel et al, 2020).

¹Período da pandemia 26/02/2020 até a confecção deste artigo 30/06/2021.

Com o aumento do volume de dados e informações decorrente digitalização, o controle da administração financeira público tradicional tornasse necessário a utilização de ferramentas inovadoras para aumentar a eficiência e transparência da gestão pública (BROGNOLI, T. S.; FERENHOF, H. A., 2020). Segundo EGGERS, W. D. (2017) em escala global as gestões públicas que aplicassem a utilização de tecnologias, como a inteligência artificial e ciência de dados, poderiam obter uma economia por volta de U\$41,1 bilhões por ano. Além de uma economia orçamentária ÖZEN, Ahmet e GÜREL, Fatma Nur. (2020) mostram que a digitalização leva um ganho de competitividade dos estados nacionais.

No cenário brasileiro o tema da digitalização (SCHÄFER, Murilo Billig; FLORES, Daniel, 2013) se depara com peculiaridades relacionadas desde a infraestrutura tecnologia até a capacitação dos agentes públicos (LIMA, Eliseu Santos; FLORES, Daniel, 2016). Contudo, buscar forma de controle mais rápidas, confiáveis, gerenciáveis e contínuas é um dos desafios posto ao aperfeiçoamento da gestão pública brasileira e isto passa por soluções vindas da Indústria 4.0.

Um dos eixos de desenvolvimento da Indústria 4.0 é o sistema cyber-físico (ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng., 2015). Um dos sistemas cyber-físicos é o gêmeo digital (em inglês Digital Twins), o gêmeo digital é uma aplicação de tecnologia vanguardista e por isto sua definição está em construção, neste artigo adotaremos a que é proposta por BOLTON, A. et al. (2018) "uma representação digital realista de ativos, processos ou sistemas no ambiente natural ou construído". A construção desta definição ressalta a distinção então o gêmeo digital e uma simulação deixando evidente a sua principal característica: as conexões entre o gêmeo digital e o mundo físico. Esta característica específica é o que faz desta ferramenta uma opção para a construção de controle da administração pública.

O controle da administração é fundamental para limitar e trazer transparência da atuação das autoridades tomadoras de decisão do poder público (FRANÇA, Phillip Gil, 2017). Os limites e a transparência são essenciais para os cidadãos e os atores econômicos. À sociedade coletivamente organizada também faz parte da monitoração de abusos e omissões destes do poder público tendo em vista extensa, variada, especializada e complexa atuação do estado em nossa sociedade contemporânea. O controle da administração pública no Brasil, pode ser subdividido em duas abordagens: o controle interno e o controle externo (PALUDO, A. V., 2010).

O controle externo é de encargo do poder legislativo através da sustação de ato normativo do poder executivo pelo legislativo, do poder judiciário por meios de ações judiciais e do contribuinte por exame das contas dos municípios e sua execução nos termos da lei. O controle interno na administração pública (BOTELHO, Milton Mendes, 2011) tem como finalidade anular seus próprios atos, quando praticados em fora da norma constituída com o direito. Os principais instrumentos de controle interno são os atos administrativo, a supervisão ministerial, a representação a órgãos internos de correição e os processos decisórios, este último será o campo de atenção deste artigo.

Desta forma explora-se neste artigo uma proposta de controle interno na administração pública apropriada de uma ferramenta como o gêmeo digital para o auxílio da gestão e execução do plano nacional de vacinação, objetiva-se especificamente na redução de desperdício de doses, maximização dos fluxos de aplicação, redução de gastos. Na seção dois serão aprofundado os fundamentos dos campos teóricos deste artigo; na sessão três é apresentada a metodologia utilizada; seção quatro e modelo teórico e na sessão cinco será discutido as implicações do modelo proposto.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Controle da Administração Financeira Pública

A pandemia impôs ao mundo e conseqüentemente ao Brasil um cenário de escassez de recursos e insumos vinculados direta ou indiretamente ao plano de enfrentamento a pandemia proposto pelo Ministério da Saúde. É o contrário, a forte demanda contribuiu para gerar o aumento da escassez e elevar os preços (COSTA, Mariana Boechat, 2020). Neste ambiente é fundamental para evitar

desperdício, ineficácia e ações corruptas dos recursos financeiros públicos um rigoroso mecanismo de controle, Meirelles (2005 p. 58), apresenta uma definição para o controle da administração pública: “é a faculdade de vigilância, orientação e correção que um poder, órgão ou autoridade exerce sobre a conduta funcional de outro”.

O controle da administração pública é dever da própria administração (ou outro poder) e lhe cabe corrigir, vigiar e orientar de forma diretamente e/ou por meio de órgãos especializados, a sua atuação administrativa. Como apontado por Marinela (2010 p. 210), o controle da administração é “o conjunto de mecanismos jurídicos e administrativos para a fiscalização e revisão de toda atividade administrativa”. Este controle deve ser exercido por todos os agentes de todos os poderes do estado mantendo assim as atividades executadas sempre em conformidade com os princípios encontrados na constituição.

O controle da administração pública além das dimensões interna e externa, como vimos anteriormente, pode ser agrupar em três classes de controle devido ao momento de sua aplicação. O controle prévio tem finalidade preventiva e é, essencialmente, realizado pela auditoria interna ou pelos sistemas de controle interno da organização. O controle concomitante é exercido durante a realização da atividade, atuando lado a lado da gestão administrativa, essa modalidade de controle é acionada por provocação externas à organização: denúncias, representações ou ações do Ministério Público. O controle a posteriori é executado após a realização da atividade, dada a natureza da atividade o controle pode ser executado periodicamente depois nada realização de uma das etapas da atividade.

2.2. Plano Nacional de Operacionalização da vacinação contra a covid-19 (PNO)

O Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a covid-19 (PNO²) foi apresentado pelo Ministério da Saúde (MS), através da Coordenação-Geral do Programa Nacional de Imunizações (CGPNI) e do Departamento de Imunização e Doenças Transmissíveis (DEIDT), da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), como medida de resposta ao avanço/controlado da pandemia. Em 18 de setembro de 1973 foi criado o Programa Nacional de Imunizações (PNI). O PNI é responsável pela política nacional de imunizações da população brasileira que atualmente é estimada em 211,8 milhões de pessoas. Toda esta expertise em vacinação em massa e toda capilaridade nacional é o ponto forte para promover a vacinação contra a covid-19. A elaboração do PNO também contou com o Conselho Nacional de Secretários de Saúde (Conass) e Conselho Nacional de Secretarias Municipais de Saúde (Conasems). O plano foi orientado por 10 eixos norteadores:

1. Situação epidemiológica e definição da população-alvo para vacinação;
2. Vacinas COVID-19;
3. Farmacovigilância;
4. Sistemas de Informações;
5. Operacionalização para vacinação;
6. Monitoramento, Supervisão e Avaliação
7. Orçamento para operacionalização da vacinação
8. Estudos pós-marketing
9. Comunicação;
10. Encerramento da campanha de vacinação.

² Disponível na íntegra em <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/publicacoes-tecnicas/guias-e-planos>

Para cada eixo o PNO estabelecer as ações e estratégias para a operacionalização da vacinação contra a covid-19 no Brasil e fornece parâmetros de operação. Dentro das estratégias os objetivos específicos são: *apresentar a população-alvo e grupos prioritários para vacinação, otimizar os recursos existentes por meio de planejamento e programação oportunos para operacionalização da vacinação nas três esferas de gestão e instrumentalizar estados e municípios para vacinação contra a covid-19.*

Dentro do eixo vacinação, até a atualização do dia 31/05/2021 (7ª edição), o PNO quantifica com quatro vacinas para a utilização na imunização contra covid-19 autorizadas pela Anvisa, sendo elas Sinovac/Butantan e Janssen com autorização para uso emergencial e duas, AstraZeneca/Fiocru e Pfizer/Wyeth ambas com registro definitivo. O PNO apresenta os dados operacionais para as utilização e acondicionamento das vacinas como podemos ver, como exemplo, para vacina Sinovac na tabela 1. O PNO não apresenta os dados para a Janssen. Os esquemas vacinais, as eficácias e a descrição das principais plataformas tecnológicas utilizadas são documentadas no PNO e ele também estabelece, no âmbito da vacinação, os grupos prioritários e sua ordenação em fases e uma estimativa populacional dos grupos prioritários.

Tabela 1 Vacina adsorvida covid-19 (inativada) – Instituto Butantan (IB) / Sinovac. Brasil

Vacina adsorvida covid-19 (inativada)	
Plataforma	Vírus inativado
Indicação de uso	Pessoas com idade maior ou igual a 18 anos
Forma farmacêutica	Suspensão injetável
Apresentação	Frascos-ampola, multidose 10 doses
Via de administração	IM (intramuscular)
Esquema vacinal/intervalos	2 doses de 0,5 ml, intervalo entre doses de 4 semanas
Composição por dose	0,5 ml contém 600SU de antígeno do vírus inativado SARS-CoV-2 Excipientes: hidróxido de alumínio, hidrogenofosfatodissódico, di-hidrogenofosfato de sódio, cloreto de sódio, água para injetáveis e hidróxido de sódio para ajuste de pH.
Prazo de validade e conservação	12 meses, se conservado entre 2°C e 8°C
Validade após abertura do frasco	8 horas após abertura em temperatura de 2°C à 8°C

Fonte: CGPNI/SVS/MS *Dados sujeitos a alterações, <https://bit.ly/3dhdu72>PNO, 2021, 7ª edição.

No eixo Sistema de Informação o MS desenvolveu módulo específico para registro de cada cidadão vacinado. Foi também implementado um módulo de movimentação de imunobiológicos para facilitar a rastreabilidade e controle dos imunobiológicos aplicados aos cidadãos agilizado o planejamento e o acompanhamento de situações de eventos adversos pós vacinação. Contudo, o MS não considerou a implementação de um módulo para acompanhar a vacinação em tempo real que leva a uma análise das taxas diárias de vacinação nos pontos de vacinação.

O procedimento do registro da dose aplicada da vacina é nominal e individualizado tendo como objetivo garantir o reconhecimento do cidadão vacinado pelo número dos dados: cadastro de Pessoa Física (CPF) ou do cartão nacional de saúde (CNS), data de nascimento, nome da mãe, sexo, grupo prioritário, data da

vacinação, nome da vacina/fabricante, tipo de dose e lote/validade da vacina. Este registro deve ser realizado no Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunização (SI-PNI). O referido foi criado em 1993 em parceria com a Coordenação Nacional do Programa e o Datasus e tem por objetivo permitir que os gestores a avaliação do risco de surgimento de surtos ou epidemias. Esta análise está fundamentada nos registros dos imunobiológicos aplicados do quantitativo populacional vacinado. Estes dados são agregados por faixa etária, em determinado período e localização geográfica (DA NÓBREGA, A. A., 2010).

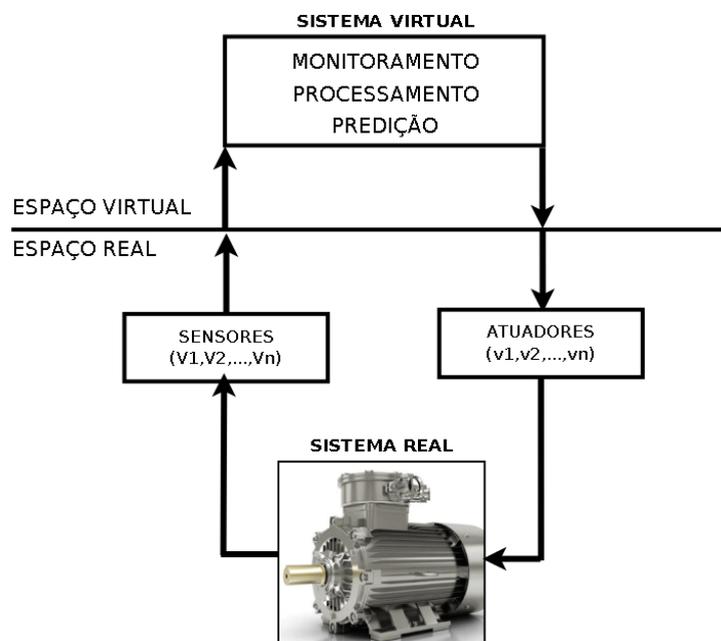
O SI-PNI permite o controle dos estoques, monitoramento da distribuição, utilização e perdas de imunobiológicos, o controle e o registro de eventos adversos pós-vacinação (Brasil. Ministério da Saúde, 2014). As características, tais como apresentadas no eixo do Sistema de Informação do PNO permitem que o SI-PNI seja utilizado como uma plataforma para a implementação de um gêmeo digital.

2.3. Conceituando gêmeos digitais

Pode-se dizer que o primeiro gêmeo digital (logicamente ele não era chamado assim há época) surge da frase: “Houston wehaveproblem” (LOVELL, Jim & KLUGER, Jeffrey, 2006). Após uma falha crítica no módulo da missão Apollo 13 que danificou os sistemas de navegação, suprimento e propulsão os engenheiros da NASA (NationalAeronauticsand Space Administration) tinham que responder ao seguinte problema: como diagnosticar e resolver problemas em um ativo físico defeituoso que está a 321.869 km de distância e fora do alcance diretamente, além dos três astronautas presos lá dentro que não puderam nem mesmo ver o dano causado pela explosão?

A solução encontrada foi utilizar os 15 simuladores de treinamento dos astronautas e controladores de missão em todos os aspectos da missão para engenheiros, astronautas e controle da missão na Terra simular e testar manobras e navegações de uma espaçonave gravemente danificada operando em uma configuração crítica. A busca por maneiras inovadoras de conservar energia, oxigênio e água, mantendo vivos os astronautas e funcional os sistemas de espaçonaves (SLATER, Stephen el al., 2020). Todas as soluções encontradas eram postas a prova nos simuladores e posteriormente transformadas em protocolo a ser enviado ao módulo orbital para implementação e assim surge semente do conceito de gêmeo digital.

Figura 1: Diagrama esquemático do gêmeo digital



Fonte: autores

O atual conceito básico do modelo gêmeo digital, mesmo tendo sua terminologia modificada, permaneceu estável desde seu início em 2002 e teve sua concepção formal consolidada no trabalho apresentado por Grieves e Vickers (2016). A premissa do modelo é que cada sistema consistia em duas partes, um sistema físico, o ativo físico e um sistema virtual que contém todas as informações mensuráveis sobre o sistema físico. Isso significava que havia uma geminação do ativo físico que existia no espaço real e seu modelo no espaço virtual e vice-versa. A partir desta premissa o Gêmeo digital pode ser aplicado a qualquer sistema que possa ser construído virtualmente por um conjunto de informações coletadas de um ativo físico, seja este um objeto ou um processo. Como todo campo na fronteira do conhecimento, o escopo de seus conceitos, definições e características geralmente avança sobre outros campos correlatos, contudo, hoje já pode-se estudar três grandes características fundamentais associadas aos gêmeos (NEGRI, Elisa, FUMAGALLI, Luca & MACCHI, Marco, 2017).

A primeira característica está vinculada aos sensores e atuadores. O sistema real pode ser equipado com sensores para a captação dos sinais para alimentar o sistema virtual e equipado com atuadores para o manejo de seu funcionamento a partir da análise e previsões do sistema virtual. Uma segunda característica do Gêmeo digital está ligada ao processamento de dados, dada a característica desta ferramenta o sistema virtual deve ser equipado com técnicas otimizadas de codificação e decodificação, análise de dados de alta dimensão e volume e algoritmos de concatenamento de dados visando convergência de dados. Por fim, uma terceira característica é a comunicação. O gêmeo digital deve ser capaz de estabelecer uma comunicação em tempo “quase real” entre o ambiente, sistemas real, sistema virtual e outros gêmeos digitais do ecossistema que está imerso (ver figura 1). A comunicação está centrada na conexão dinâmica bidirecional virtual- real.

Dadas as características apresentadas do gêmeo digital a manufatura foi um campo fértil para sua aplicação e desenvolvimento, mas rapidamente demais campos da indústria, serviço e gestão passaram a explorar esta tecnologia. Uma aplicação que ganhou força foi o apoio análises na área da saúde, manutenção e planejamento. Especificamente sua aplicação em monitoramento de anomalias, fadiga, caminhos de rachadura materiais, monitoramento de deformação geométrica e plástica no material, confiabilidade de modelo do sistema físico apresentam resultados favoráveis. Um segundo campo de aplicação e com um escopo mais amplo é espelhar digitalmente entidade física para estudar o comportamento de longo prazo do sistema e prever seu desempenho para diversas condições do meio ambiente que se encontra inserido (ZHANG, L.; ZHOU, L. e HORN, B., 2021).

PARMAR, R. et al (2020) apresenta uma nova área de aplicação do gêmeo digital. A gestão e administração está se apropriando da crescente digitalização da economia e da gestão organizacional das empresas. No artigo os autores sugerem que com cinco princípios é possível a implementação de um Gêmeo digital para a tomada de decisão na gestão organizacional e como resultado da aplicação desta ferramenta as organizações têm aumento da eficiência e eficácia com ganhos significativos na otimização do comportamento de sistemas gerencias.

A partir dos modelos de existentes de organização, o primeiro princípio (comece com o que você tem) para a implementação de um gêmeo digital é a partir de elementos digitais pré-existentes, buscando um abrangente levantamento das tecnologias digitais em uso, com foco nos ativos, processos, e interações dentro da organização. O segundo princípio (liberte os dados) está relacionado com a hierarquia de silos dos dados dentro da organização. O acesso as informações geralmente refletem a estrutura mais ampla da organização e para uma atuação plena dos gêmeos digitais os dados precisam ser liberados de silos para o livre processamento de informações. Não obstante, tendo em vista que alguns dos dados que sustentam o Gêmeo digital podem ser de terceiros ou sujeitos a controles regulatórios específicos, a liberação de dados exige uma consideração cuidadosa das proteções legais e técnicas contra usos não autorizados.

O terceiro princípio (mover a fronteira da digitalização) consiste em buscar todas as oportunidades dentro da organização para digitalizar os ativos. Para esta digitalização é necessário explorar todas as

possibilidades de utilização das tecnologias de informação e comunicação (TICs) e pela modernização, estruturação e ampliação dos dispositivos de comunicação em todas as camadas da organização. Ao longo do processo de digitalização a compreensão do que está sendo digitalizado leva a uma orientação de novas estruturas a serem digitalizadas, o panorama gerado por esta recursividade permite um aprofundamento da utilização do gêmeo digital.

Com o avanço da digitalização nas organizações e a estruturações ambiente digital para a implementação do gêmeos digitais, novas oportunidades não observadas até então se tornam cada vez mais viáveis. Está e a base do quarto princípio (busque novas oportunidades digitais), digitalização da organização leva a novas oportunidades digitais emergentes e a capacidade destas tecnologias digitais de possibilitar mudanças na organização. Pode-se identificar três propriedades que surgem da infraestrutura digital instalada e que impulsionam novas oportunidades digitais, são elas: a capacidade de reaproveitamento de ativos digitalizados por meio de reaproveitados, a maleabilidade da utilização dos dados para finalidades diferentes de seu principal e a flexibilidade organizacional adquirida do processo de digitalização da organização.

E por fim, PARMAR, R et al (2020) descreve seu quinto princípio (incrementar os modelos), neste o resultado da implementação de um gêmeo digital organizacional sobre um modelo inicial provoca a evolução do próprio modelo. Esta evolução segue dois caminhos, o primeiro consiste em manutenção regular e melhoria da organização. O segundo caminho está nas melhorias substantivas do modelo e sua ampliação de atuação dentro da organização do escopo da representação digital explorando o quarto princípio.

3. Metodologia

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que foi elaborada através de uma metodologia descritiva qualitativa (LEYDENS, Jon A.; MOSKAL, Barbara M.; PAVELICH, Michael J., 2004) para a coleta de dados do PNI, PNO e do SI-PNI utilizando um método documental (JUNIOR, Eduardo Brandão Lima et al.) e uma revisão sistemática da literatura dos mecanismos de controle da administração pública e da ferramenta gêmeo digital para diagramar o objeto de estudo. Através de uma análise do mercado estimamos a factibilidade financeira de sua implementação.

Para a coleta de dados utilizou-se os documentos PNI, PNO e SI-PNI publicados no site do Ministério da Saúde e para a revisão sistemática da literatura foram considerados apenas artigos revisados por pares e publicados em revistas indexadas. Não foi estabelecido um intervalo de tempo para a busca dos artigos. Foram utilizadas as bases de dados Scopus e Web of Science por sua abrangência e relevância neste campo de pesquisa. Os parâmetros para análise de mercado e estimativas de custo de implementação do sistema proposto foram obtidos a partir de uma pesquisa de preços em lojas do varejo brasileiras e o valor base sou o menor dentre os pesquisados.

A partir dos dados coletados e das bases teóricas definidas foi estruturado uma proposta de arquitetura de gêmeo digital para representar abstratamente esse modelo. As ilustrações apresentadas para os *dashboard* foram criadas na plataforma Canva³.

4. Arquitetura e Proposição do Gêmeo Digital

Um PNO (como visto na seção 2.2) em sua 7ª edição é apresentado em seu sexto capítulo o esquema para a operacionalização da vacinação e descreve que a Rede de Frio Nacional organiza as três esferas de gestão (município, estado e união), tendo como incumbência a logística de distribuição para garantia de vacinação em todo o território nacional, sua estrutura é composta por 1 central nacional, 27 centrais estaduais, 273 centrais regionais e aproximadamente 3.342 centrais municipais que estão vinculadas com

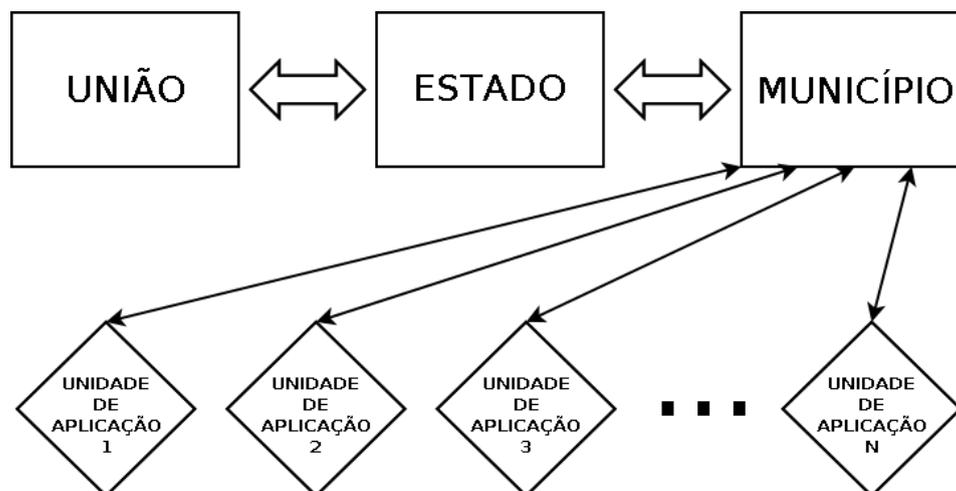
³Disponível em <https://www.canva.com/>

aproximadamente 38 mil salas de imunização, podendo chegar a 50 mil pontos de vacinação em períodos de campanhas.

Dentro deste arranjo se faz necessária a disponibilização de um número de dispositivos móveis compatíveis com o número de salas de vacinação. Os dispositivos móveis serão a plataforma de implementação do gêmeo digital. Os dispositivos serão utilizados para a coleta e transmissão dos dados de cada sala de vacinação do país. A preço de mercado no varejo o preço para a compra destes aparelhos 20 milhões de reais, cerca de 0,0004% do orçamento⁴ reservado para o enfrentamento da covid-19. O pré-requisito mínimo necessário do dispositivo móvel é: tamanho do display 5.5, câmera de 8MP e conexão 3G e WIFI.

Em cada dispositivo móvel será implementado o aplicativo gêmeo digital que está conectado com uma central municipal. A central municipal contará com um *dashboard* que será a central de informações do município, este *dashboard* apresentará informações em tempo real dos indicadores de controle da vacinação. As centrais municipais estarão conectadas a uma central estadual que contará com um *dashboard* atualizado em tempo real com dados das centrais municipais. Por fim, cada central estadual está conectada ao Ministério da Saúde que receberá em tempo real a atualização de sistema como um todo, pode-se ver o digrama esquemático na figura 2.

Figura 2: Estrutura de comunicação dos gêmeos digitais



Fonte: autores

O gêmeo digital instalado nos disponíveis móveis terá três etapas de captação de dados, a primeira etapa ocorre no início da atividade da sala de vacinação, onde o agente de saúde informará o estabelecimento de saúde CNES [n], sua identificação e dos demais agentes de saúde, o horário de fechamento da sala (TF) e o número total disponível para o dia de operação de dose de cada tipo de vacina/fabricante (NT_i, onde i=[são os tipos de vacina/fabricantes]). A segunda etapa é a identificação do cidadão a ser vacinado e atualização do cadastro do CNS. E por fim a contabilização das vacinas aplicadas ao longo da operação.

Para a identificação do cidadão será usado o número do CNS (variável CNS), este número poderá ser inserido através da leitura do QR-code existente no verso do cartão ou digitado pelo agente de saúde da sala de vacinação, caso o cidadão não possuir cadastra no CNS o cadastro será realizado no ato da vacinação (o número de novos cadastros será computado na variável NCNS) tendo em vista que o

⁴ Dados do orçamento de enfrentamento da covid: <https://www.camara.leg.br/noticias/691535-orcamento-emergencial-para-conter-pandemia-tem-execucao-superior-a-70-informa-consultoria/> acessado em 25/06/2021

gêmeo digital está conectado ao e-SUS via rede ..., em segundo plano será armazenado o tempo de início do atendimento TDI. O agente de saúde alimentará o gêmeo digital com o número de CPF (variável CPF). Uma vez identificado e validade o cidadão o sistema, através do e-SUS, completará os dados: data de nascimento (variável DN), nome da mãe (variável NM), sexo (variável G) e grupo prioritário (variável GP). Havendo divergência dos dados, com a apresentação dos documentos, o cadastro será atualizado e o número de cadastros atualizados será computado na variável NACNS).

Em algumas unidades da federação o Ministério Público está solicitando cópias de documentos comprobatórios de grupo prioritários estes documentos serão digitalizados e enviados juntamente com as variáveis de identificação diretamente e em tempo real para o Ministério Público, este é a ferramenta de controle jurídico do sistema proposto.

Uma vez identificado o cidadão o agente de saúde está apto para aplicar a vacina, este agente fará a leitura do código de barra do frasco vacinal utilizado para ler a data e hora (variável DH) da vacinação, nome da vacina/fabricante (variável TV), tipo de dose (variável TD) e lote/validade da vacina (variável LOTE e VAL respectivamente). E ao término deste processo o gêmeo digital terá um vetor de dados localizado pelo CNS, ver equação 1

$$\text{CNS}[j] = [\text{CNS}, \text{TDI}, \text{CPF}, \text{DN}, \text{NM}, \text{G}, \text{GP}, \text{MP}, \text{DH}, \text{TV}, \text{TDF}, \text{LOTE}, \text{VAL}]. \quad (1)$$

O vetor de dados CNS localiza o indivíduo e será utilizado para os cálculos dos indicadores de gestão, ele ficar armazenado temporariamente no gêmeo digital até a realização dos cálculos e da transmissão dos dados para a secretaria de saúde municipal. O vetor tem uma dimensão de 1x13 e o índice j identifica o atendimento.

4.1. Representação do Gêmeo digital

A representação do espaço virtual da sala de vacinação promovida pelo gêmeo digital e realizada pela coleta das variáveis constitutivas da inicialização da sala e da operação são de vacinação alimentará toda a cadeia de comando e controle apresentada da figura 2 e calcula as predições e indicadores de auxílio do controle e tomada de decisão.

Os indicadores em relação as quantidades são: o número de vacinas aplicadas (j), o número de vacina aplicadas por fabricante (jTV[i]), o número de vacinas por tipos (jTD), o número de vacinas por gênero (jG) e o número de vacinas por grupo prioritário (jGP).

A taxa de aplicação de vacinas (TAV) é um indicador que calculará a velocidade de aplicações ao longo do tempo e será calculado tal como apresentado na equação 2 e em palavras pode-se definir como o número de vacinas aplicadas por unidade de tempo:

$$\text{TAV} = j / (\text{DH}[j] - \text{DH}[1]) \quad (2)$$

Tempo de atendimento (TA) para a determinação será utilizado o TDI que será registrado no momento que o agente de saúde inserir o CNS e DH que será registrado no momento da leitura do código de barra do frasco da vacina, este indicador será computado de forma automática e em segundo plano.

Previsão total de sobra (PS) será calculado subtraindo da soma de NTi (número absoluto de vacinas N) menos a taxa de aplicação de vacinas multiplicado pelo tempo de operação da sala de vacinação, como podemos ver na equação 3 o valor de PS pode ser negativo ou positivo. Valor negativos indicam que as dose de vacinas acabaram antes do fechamento da sala de vacinação e se o valor for positivo a indicação de que haverá sobra de dose ao fechamento da sala.

$$\text{PS} = \text{N} - \text{TAV} * [\text{TF} - \text{DH}[1]] \quad (3)$$

Previsão de sobra por tipo de vacina/fabricante (PSTV[i]) é calcula da mesma maneira eu a previsão total de sobra (equação 3) com a diferença que a taxa de aplicação de vacinas será calculada para cada tipo de vacina/fabricante substituindo o j da equação 2 por jTV[i]. Sua interpretação é idêntica ao do indicador PS.

Os indicadores NCSN (Número de novos CSN) e NACSN (Número de CSN atualizados) forneceram dados importantes para consolidação e aprimoramento da base de dados do SUS, base essa fundamental no sistema de atenção básica, sistema hospitalar, sistema de dispensação de medicamentos etc (MAGALHÃES, Marcelo de Araujo et al, 2010). Os gêmeos digitais enviaram, periodicamente, para secretaria municipal de saúde o vetor de dados com os indicadores, equação 4, estes dados vão compor o dashboard para dar suporte a tomada de decisão dos gestores.

$$CNES[n] = [CNES,j,jTV,jTD,jG,jGP,NCSN,NACSN,TAV,TAVTV,TA,PS,PSTV]. \quad (4)$$

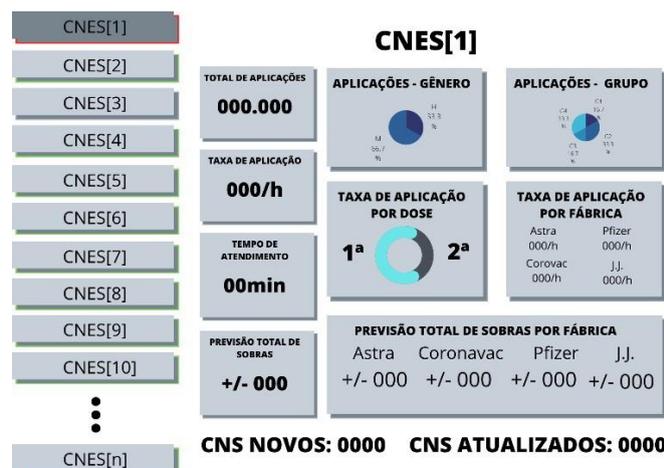
A transmissão de o vetor CNES obedecera a um período determinado pela qualidade da conexão do gêmeo digital com a secretaria de saúde municipal e este período determinará a resolução temporal dos dados.

4.2. Dashboard

A sala de controle da secretaria municipal de saúde fará a primeira concatenação dos dados. Cada CNES contará com um dashboard como visto na figura 3. O gestor terá acesso a cada CNES e os dados consolidados do município mantem a mesma estrutura sendo que os valores apresentados serão as medias de todos as CNES para os dados instantâneos (taxas e tempo de atendimento) e o somatório para os dados cumulativos. Uma estratégia para auxiliar o gestar pode-se criar um alarme quando a CNES apresentar sobre ou falta de doses permitindo a tomada de decisão de deslocar as doses para ajustar a demanda.

A secretaria municipal transmitira para secretaria estadual todos seus indicadores concatenados para secretaria estadual e em sua sala de controle estadual aconteceu a segunda concatenação dos dados. Equivalente ao realizado na sala de controle municipal, a sala de controle estadual contará com um dashboard que conterà os dados de todos os municípios acessíveis ao gestor e uma tela com os parâmetros médios e cumulativos e por fim, o Ministério da Saúde recebera dos dados concatenados pelos estados e reproduzindo a mesma estrutura descrita anteriormente para os estados e municípios.

Figura 3: exemplo de dashboard para cada CNES.



Fonte: autores

5. Discussão e Considerações Finais

Este artigo apresentou o desenvolvimento de uma arquitetura para construção de gêmeo digital com foco na digitalização e modernização do Plano Nacional de Vacinação no enfrentamento da pandemia de covid-19. O modelo proposto de gêmeo digital e da estrutura apresentada de ligação deste com um sistema de informação instalado permitiria uma ferramenta de gestão para o aumento de eficiência e eficácia em imunização da população. Constatou-se que dentro da tecnologia já implementada (e-SUS e SI-SNI) e existente a operacionalização da vacinação com o auxílio do gêmeo digital se fez factível a um custo sustentável dentro do orçamento proposta pelo MS.

Do ponto de vista do controle externo a arquitetura do modelo priorizou a não necessidade de papéis a partir da digitalização dos documentos comprobatórios a serem enviados para o Ministério Público, o uso desta ferramenta agilizará a verificação por parte dos agentes do MP e trará uma contribuição para o meio ambiente com a redução de utilização de papéis. E a instantaneidade do recebimento dos documentos pelo MP possibilitará um rigor no controle da distribuição das vacinas entre os grupos prioritários, mitigando assim as fraudes comprobatórias.

O gêmeo digital apresenta um ganho estratégico e financeiro no controle interno permitindo os gestores ações e estratégias que potencializem a vacina reduzindo os gastos com os desperdícios com perda de doses e permitindo a maximização da aplicação com a gestão municipal das taxas de aplicação e sobras. Um aspecto relevante no campo do controle interno é a atualização e cadastramento do CNS da população, este avanço propiciaria uma plataforma de dados para um adequado dimensionamento das políticas públicas de saúde do município, estado e união.

Algumas limitações encontradas para a implementação do modelo proposto deste artigo estão relacionadas a cobertura de rede 3G do Brasil, mesmo que seja essa cobertura de 90% ela é muito instável em algumas regiões e isto levaria a uma dessincronização dos gêmeos digitais. Um segundo aspecto a ser levado em consideração é a segurança do sistema como um todo, contudo toda a expertise do SI-PNI pode dar suporte a implementação do gêmeo digital. Uma limitação detectada relevante para a implementação do modelo proposto é a dificuldade de adoção da tecnologia pelos agentes operadores do sistema de saúde, tendo em vista a heterogeneidade da curva de aprendizado dos indivíduos dificultando o treinamento em um curto espaço de tempo necessitado pela urgência da pandemia.

O presente artigo demonstra que a interface entre os meios de controle da administração pública e atividades de gestão tem ganhos com a implementação de ferramentas da indústria 4.0, como gêmeo digital, com custo relativamente baixos dada a apropriação da digitalização já existente e a reestruturação desta para novas atividades. Estes ganhos vão desde otimização de utilização de insumos (vacina) com na ordenação do cumprimento das normativas e fiscalização da operação de imunização de forma ampla.

As próximas etapas de nosso estudo será o desenvolvimento de um protótipo funcional do gêmeo digital e para tal temos a perspectiva de utilizar a plataforma Flutter. Este protótipo funcional poderá ser testado em pequena escala, um posto de saúde por exemplo, e assim um mapa do fluxo de pacientes pode ser gerado permitindo a validação do modelo. Por fim é fundamental tem em ótica que uma vez esta estrutura instalada ela servirá para todas as ações de imunização do Ministério da Saúde, como foi o caso da H1N1 e Zika, tornando-se uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão dos gestores e controladores.

Referências

- BRASIL. **Ministério da Saúde. Coordenação geral do Programa Nacional em Imunizações** [Internet]. Manual do sistema de informação do programa nacional em imunizações [acesso em 4 jun 2016]. Brasília: Ministério da Saúde; 2014. Disponível em: URL:http://pni.datasus.gov.br/sipni/documentos/manual_sipni.pdf
- BOLTON, A. *et al.* The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework. **Centre for Digital Built Britain and Digital Framework Task Group**, 2018.
- BOTELHO, Milton Mendes. **Manual de controle interno: teoria & prática**. 1ª Ed. (ano 2013), 7ª reimpr. Curitiba: Juruá, 2011.
- BROGNOLI, T. S.; FERENHOF, H. A. **Transformação digital no governo brasileiro: Desafios, ações e perspectivas**. Revista de Gestão e Tecnologia, v. 10, n. 1, p. 01-11, 2020.
- EGGERS, W. D.; SCHATSKY, D.; VIECHNICKI, P. **How artificial intelligence could transform government**. Retrieved October, v. 29, p. 2019, 2017.
- CIOTTI, Marco *et al.* The COVID-19 pandemic. **Critical reviews in clinical laboratory sciences**, v. 57, n. 6, p. 365-388, 2020.
- COSTA, Mariana Boechat. O Aumento Abusivo De Preços Referente A Utensílios e Medicamentos Em Tempos De Pandemia. Revista de Direito, **Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo**, v. 6, n. 2, p. 37-54, 2020.
- DA NÓBREGA, Aglaêr Alves; DA SILVA TEIXEIRA, Antonia Maria; LANZIERI, Tatiana Miranda. **Avaliação do sistema de informação do Programa de Imunizações (SI-API)**. 2010.
- DE SOUZA SILVA JUNIOR, Daniel; CARLOS DOS SANTOS, Ruan; LUIZ DOS SANTOS, Ismael. Inovações Da Indústria 4.0 Na **Gestão De Processos Na Prestação De Serviços Na Construção Civil**. Future Studies Research Journal: Trends & Strategies, v. 12, n. 3, 2020.
- FRANÇA, Phillip Gil. **Controle da administração pública**. Saraiva Educação SA, 2017.
- JUNIOR, Eduardo Brandão Lima et al. Análise documental como percurso metodológico na pesquisa qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 44, 2021.
- Grieves, M., Vickers, J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, in: **Transdiscipl. Perspect. Complex Syst.**, 2016: pp. 85–113. doi:10.1007/978.
- LEYDENS, Jon A.; MOSKAL, Barbara M.; PAVELICH, Michael J. Qualitative methods used in the assessment of engineering education. **Journal of engineering education**, v. 93, n. 1, p. 65-72, 2004.
- LIMA, Eliseu Santos; FLORES, Daniel. A Evolução da Legislação relacionada à Digitalização e aos Documentos Digitais no âmbito da Administração Pública Federal. **Revista Sociais e Humanas**, v. 29, n. 1, p. 75, 2016.
- LOVELL, Jim; KLUGER, Jeffrey. **Apollo 13**. Houghton Mifflin Harcourt, 2006.
- MACIEL, Ethel Leonor Noia. **A campanha de vacinação contra covid-19 no Brasil: oportunidades e desafios**. Nursing (São Paulo), v. 24, n. 274, p. 5340-5340, 2021.
- MAGALHÃES, Marcelo de Araujo et al. **Desafios da gestão de uma base de dados de identificação unívoca de indivíduos: a experiência do Projeto Cartão Nacional de Saúde no SUS**. 2010. Tese de Doutorado.
- MANDAL, Manotoshet *et al.* A model based study on the dynamics of COVID-19: **Prediction and control**. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 136, p. 109889, 2020.

- MARINELA, Fernanda. **Direito administrativo**. 4ª Ed. Niterói: Impetus, 2010.
- MEIRELLES, Hely Lopes *et al.* Direito administrativo brasileiro. **Revista dos Tribunais**, 1966.
- NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca; MACCHI, Marco. **A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems**. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 939-948, 2017.
- ÖZEN, Ahmet; GÜREL, Fatma Nur. Digital Twin Model As A Digital Transformation Application In Public Auditing. **The Impacts Of Digital Transformation**, p. 1, 2020.
- PALUDO, Augustinho Vincente. **Administração pública**. Elsevier, 2010.
- PARMAR, Rashik; LEIPONEN, Aija; THOMAS, Llewellyn DW. Building an organizational digital twin. **Business Horizons**, v. 63, n. 6, p. 725-736, 2020.
- SCHÄFER, Murilo Billig; FLORES, Daniel. A digitalização de documentos arquivísticos no contexto brasileiro. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, v. 6, n. 2, 2013.
- SHI, Zhan *et al.* Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, v. 37, n. 4, p.
- SLATER, Stephen *et al.* **APOLLO 13: a real-time journey through the third lunar landing attempt..** A real-time journey through the third lunar landing attempt.. 2020. Disponível em: <https://apolloinrealtime.org/13/>. Acesso em: 11 maio 2021.
- TEMPORÃO, José Gomes. **O Programa Nacional de Imunizações (PNI): origens e desenvolvimento**. *História, ciências, saúde-manguinhos*, v. 10, p. 601-617, 2003.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION *et al.* **Infection prevention and control during health care when novel coronavirus (nCoV) infection is suspected: interim guidance**, 25 January 2020. 2020. 607-617, 202.
- ZHANG, Lin; ZHOU, Longfei; HORN, Berthold KP. Building a right digital twin with model engineering. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 59, p. 151-164, 2021.
- ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 2015 12th **International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.

Recebido em: 16/07/2021

Aceito em: 25/03/2022

Endereço para correspondência:

Nome: Anderson de Oliveira Ribeiro

Email: andersonribeiro@ugb.edu.br



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)