

Modelando o processo de vacinação da COVID-19 utilizando o Método FRAM

Modeling the COVID-19 vaccination process using the FRAM Method

Modelización del proceso de vacunación COVID-19 mediante el método FRAM

Arlindo Souza Amaral Neto <https://orcid.org/0000-0002-9692-3568>¹, Nathália Miranda do Nascimento <https://orcid.org/0000-0002-8477-1587>¹, Alessandra Barrias Loureiro <https://orcid.org/0000-0002-5974-7120>¹, Mônica Ferreira da Silva <https://orcid.org/0000-0003-0951-6612>^{1,2}, Claudia Araújo <https://orcid.org/0000-0003-0290-4807>², Maria del Pilar Antó Rubio <https://orcid.org/0000-0003-1024-4124>^{1,3}, Sildenir Alves Ribeiro <https://orcid.org/0000-0003-4808-1009>^{1,4}

Resumo A vacinação é um processo crucial em uma unidade de atenção básica e de extrema importância para a sociedade. Este estudo buscou mapear e analisar o processo de vacinação da COVID-19 a partir de conceitos da Engenharia de Resiliência, de modo a identificar possíveis fontes de falhas e recomendar melhorias. Foi realizado um estudo de caso em uma unidade de Atenção Primária à Saúde, e a coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas em um estudo transversal. O processo de vacinação foi analisado e modelado utilizando o método de análise da ressonância funcional (FRAM), o que proporcionou uma maior compreensão do fluxo processual e a identificação das principais funções e pontos de variabilidade do sistema. Os resultados apontaram os acoplamentos entre funções que podem gerar alta variabilidade, o que possibilitou engendrar melhorias da resiliência do sistema a partir da proposição de contramedidas de contorno para as situações identificadas como gargalos.

Palavras-chave FRAM, Vacinação, COVID-19, Resiliência em Sistemas de Saúde, Atenção Primária à Saúde

Abstract Vaccination is crucial in a primary care unit and relevant for society. This study aimed to map and analyze the COVID-19 vaccination process adopting Resilience Engineering concepts to identify possible sources of failure and recommend improvements. A case study was conducted in a Primary Health Care unit, and data were collected through semi-structured interviews in a cross-sectional study. The vaccination process was analyzed and modeled using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM), which provided a greater understanding of the procedural flow and the identification of the system's primary functions and points of variability. The results pointed out the couplings between functions that can generate high variability, which engineered improvements in the system's resilience by proposing countermeasures for the situations identified as bottlenecks.

Key words FRAM, Vaccination, COVID-19, Health System Resilience, Primary Health Care

Resumen La vacunación es un proceso crucial en una unidad de atención primaria y de extrema importancia para la sociedad. Este estudio pretendía mapear y analizar el proceso de vacunación COVID-19 utilizando conceptos de la Ingeniería de la Resiliencia, con el fin de identificar posibles fuentes de fallo y recomendar mejoras. Se realizó un estudio de caso en una unidad de Atención Primaria de Salud y se recogieron datos mediante entrevistas semiestructuradas en un estudio transversal. El proceso de vacunación se analizó y modelizó mediante el método de análisis de resonancia funcional (FRAM), que proporcionó una mayor comprensión del flujo del procedimiento y la identificación de las principales funciones y puntos de variabilidad del sistema. Los resultados mostraron los acoplamientos entre funciones que pueden generar una alta variabilidad, lo que permitió diseñar mejoras en la resiliencia del sistema proponiendo contramedidas para las situaciones identificadas como cuellos de botella.

Palabras clave FRAM, Vacunación, COVID-19, Resiliencia en Sistemas de Salud, Atención Primaria de Salud

¹ Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Av. Athos da Silveira Ramos 274, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-916 Rio de Janeiro RJ Brasil. arlindoneto@ufrj.br

² Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, UFRJ. Rio de Janeiro RJ Brasil.

³ Universidad San Ignacio de Loyola. Lima Peru.

⁴ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro RJ Brasil.

Introdução

A pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2) representou um desafio global para os sistemas de saúde¹⁻³. Embora o Brasil tenha uma importante rede pública de saúde, a pandemia por COVID-19 provocou um aumento significativo no número de internações, o que pressionou a reorganização do Sistema Único de Saúde (SUS)^{4,5}. As atividades de vacinação para COVID-19 representaram uma atividade extraordinária nas rotinas de vacinação já existentes no Programa Nacional de Imunização (PNI)⁶.

No Brasil, o SUS conta com o Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunização (SI-PNI), cujo propósito principal é planejar a tomada de decisões frente às atividades de vacinação⁷⁻⁹. O SI-PNI é uma inovação tecnológica importante na gestão das operações de imunização, mas seu uso continua sendo um desafio^{7,9}. Apesar dos seus inúmeros benefícios para os serviços de atenção à saúde, de acordo com Silva *et al.*⁹, “alguns desafios são observados quanto à sua operacionalização, integralidade e qualidade dos dados coletados (duplicidade e sub-registro)”. Soma-se a estas questões a sobrecarga de trabalho imposta às equipes de saúde pela pandemia e as diferentes dificuldades enfrentadas para o registro adequado das informações, que vão desde a ausência de equipamentos e de treinamento para as equipes até a priorização do atendimento ao paciente em relação ao registro, dada a elevação do número habitual de atendimentos^{1,10-12}.

Pesquisas anteriores identificaram falhas no processo de vacinação quanto à disponibilidade e à qualidade dos dados de vacinação contra a COVID-19 no Brasil^{1,10,12}. Segundo dados apresentados na nota técnica “Transparência da Vacinação”¹², 74% dos quesitos, relativos ao processo de vacinação contra COVID-19, apresentaram problemas: seja incompletude (37%), ausência completa (30%) ou inconsistência (7%) das informações. Nesse sentido, é importante conhecer as nuances do uso do SI-PNI e como ele é utilizado nas salas de vacinação das unidades de Atenção Primária à Saúde (APS) durante o processo de vacinação.

Além disso, os Sistemas de Informação em Saúde (SIS) costumam refletir a complexidade da própria assistência à saúde. Segundo Ferreira *et al.*¹³, as “atividades na área da saúde em geral são frequentemente caracterizadas como sistemas sociotécnicos complexos, apresentando interações não lineares entre seres humanos e artefatos tecnológicos ou organizacionais”. Por-

tanto, visando a identificação e gestão de riscos, a engenharia de resiliência se mostra uma boa abordagem para lidar com os fenômenos da variabilidade e seus impactos em sistemas sociotécnicos complexos¹⁴⁻¹⁶, uma vez que garantir o registro adequado da imunização no cartão de vacinação do usuário e nos sistemas de informação é um dos dez passos divulgados pelo Ministério da Saúde para os trabalhadores da APS, a fim de garantir a ampliação das coberturas vacinais nas unidades¹⁷.

A resiliência dos sistemas de saúde é a capacidade de adaptação que estes sistemas apresentam a fim de atender os serviços de saúde de forma ininterrupta com segurança e qualidade. Esta habilidade deve ser desenvolvida continuamente e não apenas quando ocorre um evento extraordinário, como a pandemia de COVID-19^{18,19}. Nesta pesquisa, o momento crítico da pandemia foi utilizado para modelar e analisar o processo de vacinação, buscando suas variabilidades e expondo oportunidades de melhoria.

Em função do exposto, este trabalho tem como objetivo mapear e analisar os principais pontos de variabilidade do processo de vacinação da COVID-19 a partir de conceitos da Engenharia de Resiliência^{14,19}. O estudo de caso foi adotado como estratégia de pesquisa. Foram realizadas observações numa sala de vacinação de uma unidade da APS e entrevistas com os membros da equipe responsável. A partir dos dados coletados, o processo de registro e aplicação de vacinas foi modelado usando o Método de Análise de Ressonância Funcional (FRAM), que é uma ferramenta eficaz para identificar e compreender as principais causas de propagação de falhas em sistemas sociotécnicos, a partir do acoplamento de variabilidades entre funções^{15,20}.

Sistema de Informações do Programa Nacional de Imunizações

Os SIS são ferramentas de coleta e processamento de dados que transformam dados e informações em conhecimento. A coleta de dados de imunização embasa decisões e ações importantes para a gestão em saúde²¹⁻²⁴. O PNI, criado em 1973, reúne as informações sobre a vacinação de todo país, sendo responsável pela política nacional de vacinação e pelo plano nacional de operacionalização da vacinação contra a COVID-19²⁵.

O SI-PNI, implantado em 2010, registra de forma individual informações sobre cada pessoa vacinada, de acordo com a faixa etária, as doses de vacina aplicadas e calcula a cobertura vacinal²³.

O processo de imunização durante a COVID-19 vem sendo monitorado e acompanhado através dos registros realizados no SI-PNI, facilitando o planejamento e controle dos imunobiológicos distribuídos. O registro pode ser realizado em 'tempo real' on-line ou posterior à vacinação, como acontece nas salas de vacinação não informatizadas, sem conectividade com a internet ou na vacinação extramuros, fora da sala de vacinação, como exemplo, em domicílio²⁵.

É definido como erro de registro de imunização, os erros de digitação e as doses aplicadas fora do protocolo vacinal vigente ou imunológico divergente, estas classificadas assim como erro de imunização²⁶.

Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

O FRAM é apontado como um método de análise que reflete a Engenharia de Resiliência e o pensamento da *Safety II* e busca compreender como o trabalho se ajusta às situações “inesperadas” e quais podem ser as consequências – tanto positivas como negativas – de tais ajustamentos^{27,28}. O objetivo de uma análise FRAM²⁸ é descrever ou representar como um sistema deve funcionar para atingir seus objetivos (ou seja, o trabalho diário) e compreender como a possível variabilidade de funções (sozinhas ou em combinação) pode afetar como isso acontece.

Embora o FRAM tenha sido inicialmente aplicado em análise de acidentes, hoje ele é empregado como ferramenta de modelagem em uma ampla gama de domínios, incluindo a saúde²⁹⁻³³.

Materiais e métodos

O estudo foi dividido em duas etapas: (i) mapear e analisar o processo de vacinação da COVID-19, e; (ii) modelagem FRAM.

Etapla 1: Mapear e analisar o processo de vacinação da COVID-19

Para mapear o fenômeno utilizou-se uma abordagem qualitativa transversal, que envolveu a adoção do estudo de caso como estratégia de pesquisa, pois se trata de “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto atual, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”³⁴.

Para analisar a segurança do registro dos dados durante o processo de vacinação, foi selecionada, por conveniência, uma unidade da APS localizada na zona norte do Rio de Janeiro, devido a duas características principais: (i) a possibilidade de acesso e disponibilidade dos funcionários para colaboração na execução da pesquisa e (ii) o interesse das lideranças da organização por contribuir com a pesquisa, após a apresentação de pesquisas já realizadas e dos propósitos desta pesquisa.

A unidade de análise considerou todos os profissionais que atuam diretamente no processo de aplicação de vacinas e registro de imunização referente às atividades de vacinação da COVID-19 da unidade da APS. A equipe era formada por 01 (um) Enfermeiro e 01 (um) Técnico de Enfermagem. Todos os profissionais selecionados consentiram expressamente com a participação na pesquisa.

A coleta dos dados e das notas de campo foi realizada por meio de entrevistas presenciais e individuais com os profissionais, para identificar potenciais variabilidades do sistema. As entrevistas foram semiestruturadas e seguiram o questionário presente no link: <https://doi.org/10.48331/scielodata.A82INX>, composto por questões sociodemográficas e técnicas, que versam sobre o mapeamento funcional e a contextualização de utilização do sistema SI-PNI. Cada entrevista teve duração de 2 horas, aproximadamente, sem necessidade de repetições e gravação de material audiovisual.

Este estudo foi realizado na capital do Rio de Janeiro durante o mês de novembro de 2021, período de aplicação da primeira dose da vacina contra a COVID-19 para pessoas a partir de 12 anos, e aplicação da dose de reforço para os seguintes casos: pessoas com 59 anos ou mais; pacientes com alto grau de imunossupressão (12 anos ou mais); profissionais e trabalhadores da saúde que tomaram a 2ª dose até 31/05/21; e pessoas a partir de 18 anos que tomaram a 2ª dose há mais de 5 meses³.

Etapla 2: Modelagem FRAM

Para a modelagem do processo de vacinação, utilizou-se o FRAM²⁷. O modelo FRAM visa analisar como a variabilidade nas saídas de funções podem ser combinadas para prevenir sua ressonância, o que pode levar a resultados indesejados³⁵. Hollnagel²⁷ recomenda que o propósito da análise seja definido previamente à aplicação do FRAM, uma vez que a modelagem pode ser relativa à investigação de acidentes (olhando

para eventos passados, análise retrospectiva) ou relativa à avaliação de segurança (olhando para eventos futuros, análise prospectiva).

O FRAM é fundamentado em quatro princípios ou suposições sobre como as coisas acontecem^{27,28}.

O princípio da equivalência (de sucessos e fracassos): tanto fracasso como sucesso são equivalentes, pois ambos têm a mesma origem, ou seja, as causas do funcionamento adequado ou inadequado.

1. O princípio dos ajustes aproximados: as pessoas ajustam constantemente suas atividades para adaptá-las ao ambiente que se encontram (considerando recursos, demandas, oportunidades, conflitos e interrupções), a fim de que as ações correspondam com as condições estabelecidas.

2. Princípio dos fenômenos emergentes: dificilmente a variabilidade sozinha será grande o suficiente para causar uma falha ou acidente, mas a variabilidade em múltiplas funções pode se combinar de maneiras imprevistas e causar efeitos desproporcionais e não lineares.

3. Princípio de ressonância funcional: nos casos em que o princípio causa-efeito (causalidade) não pode ser explicado, a ressonância funcional pode ser usada para descrever e explicar interações e resultados não lineares.

Uma vez que o propósito da investigação foi definido, passou-se à aplicação do FRAM, que consiste em quatro etapas^{27,28}, quais sejam:

- A primeira etapa consiste em identificar e descrever as funções importantes do sistema e caracterizar cada função usando seis características básicas (chamadas aspectos) (Figura 1): *Input* (entradas), *Output* (saídas), *Preconditions* (pré-condições), *Resources* (recursos), *Time* (tempo) e *Control* (controle). Juntas, as funções constituem um modelo FRAM.

- A segunda etapa consiste em caracterizar a variabilidade potencial para cada função singular no modelo FRAM, assim como a possível variabilidade real em uma ou mais implementações do modelo.

- A terceira etapa é a identificação da ressonância funcional. Consiste em determinar a possibilidade de ressonância funcional com base nas dependências/acoplamentos entre funções, dada a sua variabilidade potencial e real. O objetivo desta etapa é determinar as maneiras possíveis pelas quais a variabilidade de uma função pode se espalhar no sistema e como ela pode se combinar com a variabilidade de outras funções.

- A quarta etapa consiste em desenvolver recomendações/contramedidas sobre como mo-

nitorar e influenciar a variabilidade, seja atenuando a variabilidade que pode levar a resultados indesejáveis, seja aumentando a variabilidade que pode levar a resultados desejados.

Resultados e discussão

Modelagem com FRAM do ambiente estudado: uma unidade de Atenção Primária à Saúde

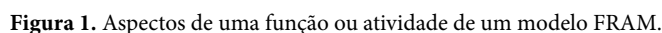
O processo de vacinação compreende a organização e funcionamento da sala de vacinação, conservação dos imunobiológicos, e os procedimentos para o preparo e administração da vacina. Os técnicos de enfermagem são alocados na sala de imunização e supervisionados por um Enfermeiro Responsável (ER).

O funcionamento da sala de vacinas inicia-se com a abertura da mesma pela ER. Os técnicos de enfermagem, antes de proceder à vacinação propriamente dita, devem higienizar as mãos, verificar a temperatura da câmara fria, fazer o inventário e registrar as informações relevantes no livro de ordem e ocorrências. Posteriormente, devem-se preparar as caixas térmicas para que atinjam temperatura entre 2°C e 8°C, e então transferir as vacinas mais usadas para dentro delas.

Após a preparação da sala, o técnico de enfermagem deve acolher o paciente e iniciar o atendimento. Deve-se solicitar a documentação (CPF ou Cartão Nacional de Saúde (CNS) e Cartão ou Caderneta de vacinação), realizar o registro (nome do paciente, data de nascimento e imunobiológico) da dose aplicada da vacina que deverá ser nominal/individualizado e no sistema SI-PNI, fazer também o lançamento no livro de controle, além de preencher o comprovante de vacinação. Toda escuta do paciente, preparação e aplicação da vacina deve ser feita pelo profissional técnico de enfermagem. Finalizando o processo, entrega-se o comprovante e o paciente é liberado.

Passo 1 - Identificação das funções essenciais

Para melhor compreender o fenômeno estudado, foram realizadas entrevistas com os profissionais da unidade da APS selecionada, sendo 01 ER e 01 Técnico de Enfermagem. O primeiro respondente tem 28 anos, possui curso técnico em enfermagem e nível superior completo em Enfermagem, atua na APS há 6 meses, mas está



Hollnagel *et al.*²⁸ recomendam a descrição da variabilidade da saída das funções de forma simplificada, em termos de Tempo (*timing*) e Precisão (*precision*). Deste modo, em termos de Tem-

po (*timing*), uma Saída (*output*) pode ocorrer muito cedo (*too early*), a tempo (*on time*), muito tarde (*too late*) ou não ocorre (*omission (not at all)*). Em termos de Precisão (*precision*), uma Saída (*output*) pode ser precisa (*precise*), aceitável (*acceptable*) ou imprecisa (*imprecise*).

As funções de maior variabilidade potencial foram sinalizadas por uma onda senoidal na representação do modelo (Figura 2). No Quadro 1 são listadas as funções que compõem o modelo FRAM, suas saídas e variabilidade potencial.

Em resumo, das 21 funções, 11 apresentam variabilidade real em tempo e/ou precisão. As 11 funções identificadas com variabilidade em sua Saída (*output*) foram: <Abrir sala>, <Conferir a temperatura da câmara fria>, <Lançar no livro de ordem e ocorrências>, <Transferir vacinas para caixas térmicas>, <Preparar caixas térmicas>, <Iniciar Atendimento>, <Solicitar docu-

mentação>, <Consultar o sistema>, <Registrar no SI-PNI>, <Registrar no livro de vacina> e <Preparar Vacina>.

Passo 3 - Identificação da Ressonância Funcional

A base do FRAM é a descrição das funções que compõem uma atividade ou um processo, porém a relação entre as funções não é descrita diretamente, mas indiretamente através das relações definidas pelos aspectos das funções. O termo técnico comum para tais relações é acoplamento²⁸. O FRAM pode mostrar como as funções estão acopladas e quais são as fontes potenciais de maior variabilidade, além de determinar quais funções podem ser afetadas em uma determinada situação³⁷. Por exemplo, na Figura 2, as funções <Registrar no SI-PNI> e <Preencher

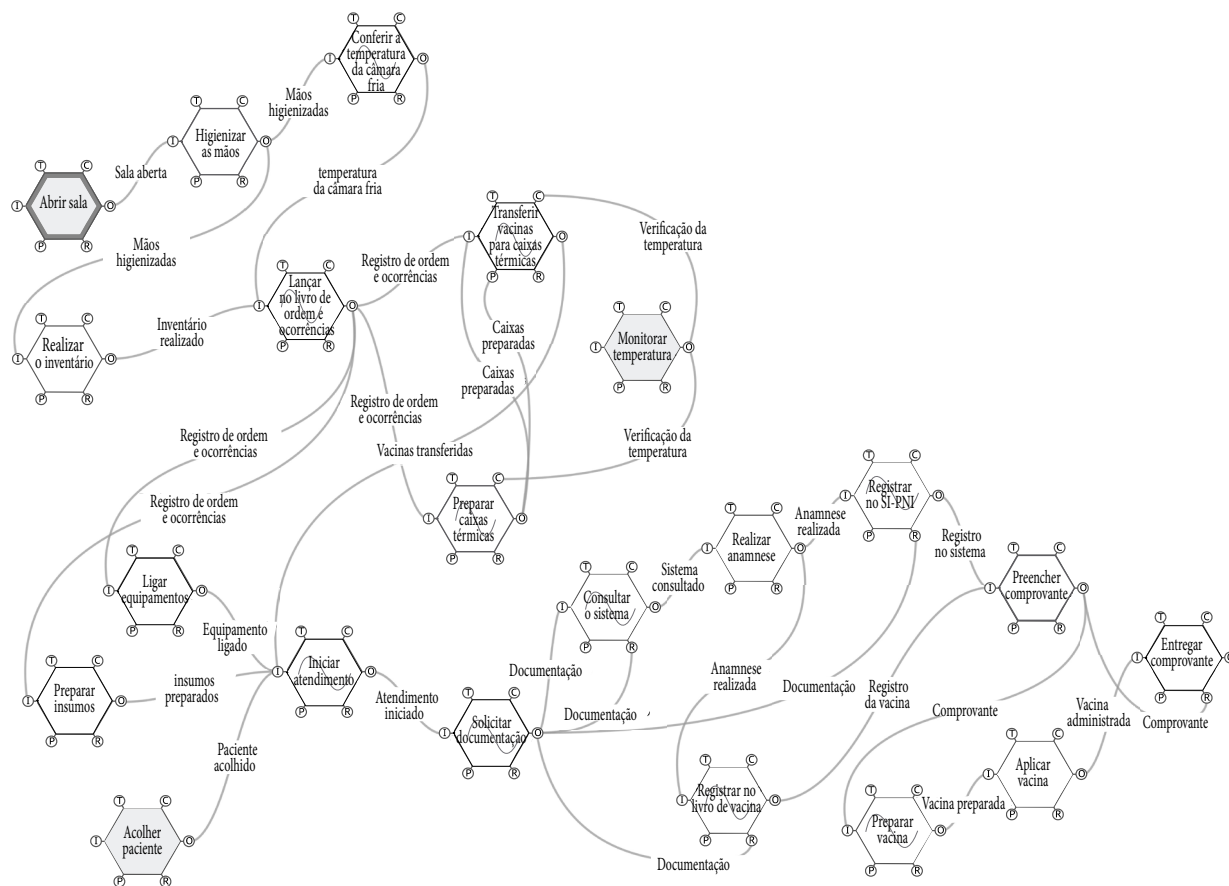


Figura 2. Modelo geral do processo de vacinação, criado no FMV v.2.2.0.

Quadro 1. Funções do sistema.

Atividade Realizada	Saída	Variabilidade Potencial da Saída
Abrir sala	Sala aberta	<i>Muito tarde:</i> A sala de vacina deve ser aberta no primeiro horário da manhã. <i>Aceitável</i>
Higienizar as mãos	Mãos higienizadas	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Conferir a temperatura da câmara fria	Temperatura da câmara fria	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Podem ocorrer erros na conferência.
Realizar o Inventário	Inventário realizado	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Lançar no livro de ordem e ocorrências	Registro de ordem e ocorrências	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Pode ocorrer erro de registro.
Preparar caixas térmicas	Caixas preparadas	<i>Muito tarde:</i> Podem ocorrer interrupções durante a execução dessa atividade. <i>Imprecisa:</i> Pode ocorrer imprecisão na temperatura, que deve estar entre 2°C a 8°C.
Transferir vacinas para caixas térmicas	Vacinas transferidas	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Podem ocorrer erros na transferência, tem-se que transferir as vacinas mais usadas.
Monitorar temperatura	Temperatura	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Preparar insumo	Insumos preparados	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Ligar equipamentos	Equipamentos ligado	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Acolher Paciente	Paciente acolhido	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Iniciar Atendimento	Atendimento iniciado	<i>Muito tarde:</i> A pessoa que vacina é a mesma que faz o registro das informações do sistema. <i>Aceitável</i>
Solicitar documentação	Documentação	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Paciente pode não possuir a documentação, como por exemplo, o cartão de vacinação.
Consultar o sistema	Sistema consultado	<i>Muito tarde:</i> Aguardar por computador disponível e/ou conectividade com a internet. <i>Aceitável</i>
Realizar Anamnese	Anamnese realizada	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Registrar no SI-PNI	Registro nominal/ individualizado da dose aplicada da vacina	<i>Muito tarde:</i> Aguardar por computador disponível e/ou conectividade com a internet. <i>Imprecisa:</i> Nem todo campo do registro é preenchido (ex.: eventos adversos após a vacinação, perdas de imunobiológicos), para acelerar o processo.
Registrar no livro de vacina	Registro da vacina	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Pode ocorrer erro de registro.
Preencher comprovante	Comprovante	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Preparar Vacina	Vacina preparada	<i>A tempo</i> <i>Aceitável:</i> Pode ocorrer erro no preparo do imunobiológico.
Aplicar Vacina	Vacina aplicada	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>
Entregar comprovante	Comprovante entregue	<i>A tempo</i> <i>Precisa</i>

Fonte: Autores, 2024.

comprovante> estão interligadas, pois a Saída da função <Registrar no SI-PNI> serve como entrada da função <Preencher comprovante> então as duas funções são potencialmente acopladas. Isto significa que a variabilidade da Saída de <Registrar no SI-PNI> pode afetar o desempenho de <Preencher comprovante>. Também pode-se dizer que a função <Registrar no SI-PNI> utiliza a Saída da função <Solicitar documentação> como um Recurso. Isto significa que a variabilidade da Saída de <Solicitar documentação> pode afetar o desempenho da <Registrar no SI-PNI>. Por exemplo, caso o paciente não apresente documentação, o registro do atendimento é descontinuado.

A análise do número de aspectos se dá seguindo passo a passo os acoplamentos potenciais entre as funções²⁸. Para tanto, os aspectos são organizados em dois grupos, que podem ser a montante ou a jusante, também identificados como grupo *upstream* e grupo *downstream*, respectivamente²⁰. Com base no mapeamento das funções na seção anterior, o Quadro 2 sinaliza os acoplamentos existentes entre as funções, através dos números de acoplamentos (NAC) das funções. Para isso, todos os aspectos a montante

e a jusante de cada função são somados. O grupo NAC “a montante” é composto pelos aspectos da entrada, recurso, controle, pré-condição e tempo. O grupo NAC “a jusante” é formado pelas saídas (Quadro 2).

Segundo Hollnagel *et al.*²⁸ e Volken e Rosário²⁰ quanto maior o número de aspectos a montante maior o potencial homeostático da função, ou seja, maior é a capacidade da função de receber insumos com variabilidades inesperadas e, dada a sua capacidade de resiliência, evitar que desvios se propaguem no processo. Desta forma, as funções <Transferir vacinas para caixas térmicas> e <Iniciar atendimento> são as com maior potencial homeostático, ou seja, funções que apresentaram o maior somatório dos NAC's a montante. Por outro lado, quanto maior o número de aspectos a jusante uma função tiver, maior será o seu potencial para propagação de falhas. As funções <Lançar no livro de ordem e ocorrências> e <Solicitar documentação> apresentaram o maior o potencial para propagação de falhas, pois são funções que apresentaram o maior somatório dos NAC's a jusante. Destaca-se, também, que as funções <Lançar no livro de ordem e ocorrências>, <Transferir vacinas para caixas térmicas>, <Iniciar atendimento> e <Solicitar documentação>, são funções com maior NAC somando os dois aspectos (a montante e a jusante). Tais informações evidenciam como estas funções são centrais à atividade. Esses resultados corroboram os achados de Volken e Rosário²⁰, no que diz respeito à identificação das funções de potencial homeostático e à propagação de falhas e permitem a implementação de aplicações em engenharia de resiliência.

Passo 4 - Contramedidas propostas

Após a aplicação do FRAM foi possível identificar algumas contramedidas que visam garantir um maior controle das situações de variabilidade identificadas, de modo a monitorar, mitigar e, até mesmo, impedir os impactos negativos que possam ocorrer.

Estas contramedidas foram agrupadas em contramedidas de cunho humano, tecnológico e organizacional:

1) Contramedidas de cunho humano:

a) Ampliação da quantidade de profissionais dedicados ao processo de vacinação. Os profissionais entrevistados realçaram a importância de, no mínimo, dois profissionais na sala de vacinação e que as atividades sejam divididas de modo a garantir que o registro das informações no sistema ocorra durante o atendimento, em

Quadro 2. Funções e números de acoplamentos (NAC).

Atividade Realizada	NAC a montante	NAC a jusante
Abrir sala	4	1
Higienizar as mãos	2	2
Conferir a temperatura da câmara fria	1	1
Realizar o Inventário	2	1
Lançar no livro de ordem e ocorrências	3	4
Preparar caixas térmicas	3	2
Transferir vacinas para caixas térmicas	6	1
Monitorar temperatura	1	2
Preparar insumo	2	1
Ligar equipamentos	2	1
Acolher Paciente	1	1
Iniciar Atendimento	5	1
Solicitar documentação	3	4
Consultar o sistema	3	1
Realizar Anamnese	1	2
Registrar no SI-PNI	4	1
Registrar no livro de vacina	2	1
Preencher comprovante	2	2
Preparar Vacina	2	1
Aplicar Vacina	3	1
Entregar comprovante	2	1

Fonte: Autores, 2024.

100% dos casos. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de funções como <Abrir sala> e <Iniciar Atendimento> cuja precisão de ambas é considerada apenas “Muito tarde”.

b) Ampliação das atividades do Enfermeiro Responsável com a implementação de uma rotina de monitoramento constante dos registros efetuados pela equipe de vacinação e de conscientização da equipe sobre a importância do uso do sistema. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de funções como <Lançar no livro de ordem e ocorrências> e <Registrar no livro de vacina> cuja precisão de ambas é considerada apenas “Aceitável”.

c) Realizar o correto preenchimento dos campos do sistema SI-PNI, em especial os dados sobre as perdas dos imunobiológicos. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de funções como <Registrar no SI-PNI> cuja precisão é considerada ‘Muito tarde’ e ‘Impreciso’.

2) Contramedidas de cunho tecnológico:

a) O arquivo permanente, com cartão-controle, deverá ser substituído pelo SI-PNI. A substituição possibilitará melhor gerência dos dados e ampliação do monitoramento das atividades. É altamente recomendável que sejam eliminados os registros paralelos e se adote uma solução unificada e integrada. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de funções como <Solicitar documentação> cuja precisão é considerada apenas “Aceitável”.

b) Unidades de vacinação sem conexão à Internet podem adotar um sistema de registro em rede local e posteriormente realizar a sincronização dos seus registros para o servidor central do SUS. É interessante que a sincronização não ultrapasse o prazo máximo de 48 horas, de modo a garantir que os dados sejam disponibilizados a nível nacional. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de funções como <Consultar o sistema> cuja precisão é considerada apenas “Muito tarde”.

3) Contramedidas de cunho organizacional:

a) O investimento em uma infraestrutura de tecnologia com alta disponibilidade pode mitigar os atuais problemas de acesso enfrentados pela unidade. Os instrumentos de coleta de dados (computadores, tablets, celulares etc.) utilizados para alimentação dos sistemas de informação devem estar disponibilizados em quantidades adequadas à equipe responsável pelo processo de vacinação, como apontado pelos profissionais ao longo das entrevistas. Essa ação visa reduzir a possibilidade de erros no desempenho de fun-

ções como <Consultar o sistema>, cuja precisão é considerada apenas “Muito tarde”, e <Registrar no SI-PNI>, cuja precisão é considerada “Muito tarde” e “Impreciso”.

A criação de uma base de dados integrada e fidedigna ao processo de vacinação pode facilitar a detecção de casos em que o sistema pode vir a ser sobrecarregado. Como exemplos, podem-se mencionar a identificação da necessidade de aquisição de novas doses de algum imunizante; efeitos colaterais dos imunizantes na população local; e melhor organização e planejamento de campanhas de vacinação.

Apesar das contramedidas apresentadas, Walker *et al.*³⁸ afirmam que para que um sistema sociotécnico se mantenha equilibrado é necessário investir em inovação e competências, que os atores estejam de acordo a respeito de que direção tomar e que se tenha acesso a insumos, recursos financeiros e infraestrutura.

Sistemas sociotécnicos complexos, como um ambiente de uma unidade de atenção primária à saúde, possuem particularidades que exigem uma abordagem robusta para solução dos seus problemas. Os modelos FRAM têm sido amplamente utilizados na representação da variabilidade que afeta as funções dos sistemas sociotécnicos complexos da saúde^{15,18,19}.

Os resultados deste estudo estão em consonância com os achados de pesquisas anteriores^{13,29}, e indicam que a aplicação do modelo FRAM em sistemas de saúde pode ajudar a identificar fontes de variabilidade que contribuem para a ocorrência de ressonância funcional. Dessa forma, o modelo FRAM aprimora a compreensão do problema a partir da análise das variabilidades. Esta análise, juntamente com a implementação de ações corretivas, pode ajudar a reduzir as ressonâncias e ampliar a resiliência do sistema.

Conclusões

A vacinação é um processo crucial em uma unidade de atenção básica e de extrema importância para a sociedade. Este estudo buscou entender como o FRAM pode auxiliar na redução dos erros de registro na sala de vacinação contra a COVID-19. O método foi utilizado para modelagem e análise do processo de vacinação, buscando melhorar sua resiliência.

O modelo foi aplicado em um estudo de caso real para analisar a segurança do registro dos dados durante o processo de vacinação. A partir do modelo instanciado foi possível iden-

tificar potenciais fontes de erros de registro na sala de vacinação contra a COVID-19. Isto proporcionou uma maior compreensão do domínio e a identificação das principais funções e pontos de variabilidade do sistema. Um ponto positivo do FRAM está na facilidade de aplicação do método, que exige basicamente uma boa compreensão de como o trabalho é executado, não demandando mais tempo do que o aceitável ou uma quantidade inviável de envolvidos.

Os resultados apontaram os acoplamentos de funções que podem gerar alta variabilidade e contramedidas de contorno foram propostas. A aplicação do FRAM proporcionou aos participantes do estudo uma visão didática do processo avaliado, facilitando identificar divergências entre o trabalho como realizado e o trabalho

como imaginado. Também foi possível identificar que, para a campanha nacional de vacinação contra a COVID-19, o registro da dose aplicada é nominal/individualizado e esta é a atividade mais crucial do processo.

A pesquisa expõe sua relevância e originalidade ao propor um desenho explicativo do fluxo das informações sobre a vacinação da COVID-19, o qual poderá servir como roteiro para gestão de eventos similares no futuro e como base para melhorias da resiliência do processo de vacinação.

O desenvolvimento futuro da pesquisa está na integração de aspectos tecnológicos e organizacionais, além dos humanos, de modo que seja possível sua aplicação em outras situações ou ambientes de cuidado da saúde.

Colaboradores

NM Nascimento, AS Amaral Neto, AB Loureiro e MF Silva contribuíram com a concepção e delineamento do estudo, interpretação dos resultados, modelagem FRAM, redação do manuscrito. C Araújo, MPA Rubio e AS Ribeiro fizeram a revisão crítica do texto com ênfase no roteiro de entrevista. NM Nascimento, AS Amaral Neto e AB Loureiro conduziram as entrevistas. Todos os autores fazem parte do grupo HumânITas, liderado por MF Silva, e leram e aprovaram a versão final do artigo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e à Fundação Oswaldo Cruz (*Fiocruz*).

Referências

1. Brasil. Ministério da Saúde (MS). *Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação Contra a COVID-19*. Brasília: MS; 2021.
2. Caetano R, Silva AB, Guedes ACCM, Paiva CCN, Ribeiro GR, Santos DL, Silva RM. Desafios e oportunidades para telessaúde em tempos da pandemia pela COVID-19: uma reflexão sobre os espaços e iniciativas no contexto brasileiro. *Cad Saude Publica* 2020; 36(5):e00088920.
3. Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Saúde. *Plano Municipal de Imunização: Documento Técnico Vacinação contra a covid-19*. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Saúde; 2021.
4. Duarte SJS, Justino LCL, Torres NL, Valle SM, Stolte VP. Manual de capacitação para vacinadores contra a COVID-19. *Coren MS* 2021; 1:1-331.
5. Ramos TCS, Silva TF. O trabalho na Atenção Primária em Saúde e a pandemia por Covid-19: um relato de experiência. *Res Soc Develop* 2021; 10(3):e38210313396.
6. Castro D. *Medidas de prevenção e controle para profissionais na vacinação contra covid-19* [Internet]. Cofen; 2021 [acessado 2021 out 29]. Disponível em: http://www.cofen.gov.br/medidas-de-prevencao-e-controle-para-profissionais-na-vacinacao-contra-covid-19_84612.html.
7. Ferreira AP, Silva BS, Pereira MAD, Oliveira VC, quites HFO, Amaral GG, Guimarães EAA. Checklist para avaliação do desempenho do Sistema de Informação de Imunização: desenvolvimento e validação. *Rev Cuba Informa Cien Salud* 2021; 32(1):1-18.
8. Sato APS. National Immunization Program: Computerized System as a tool for new challenges. *Rev Saude Publica* 2015; 49:39.
9. Silva BS, Souza KC, Souza RG, Rodrigues SB, Oliveira VC, Guimarães EAA. Structural and procedural conditions in National Immunization Program Information System establishment. *Rev Bras Enferm* 2020; 73(4):e20180939.
10. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Qualidade dos dados de vacinação nas unidades de saúde de atendimento para Covid-19 [Internet]. 2021 [acessado 2021 out 29]. Disponível em: https://bigdata-covid19.icict.fiocruz.br/nota_tecnica_20.pdf.
11. Jornal da USP. *Pesquisadores apontam problemas nos dados sobre vacinação de covid-19 no Brasil*. São Paulo: Jornal da USP; 2021.
12. Open Knowledge Brasil, Transparência Brasil, Transparência Internacional. *Transparência da Vacinação: Uma análise de organizações da sociedade civil* [Internet]. 2021 [acessado 2021 out 29]. Disponível em: https://www.ok.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Nota_Tecnica_Vacinacao_04032021.pdf.
13. Ferreira DMC, Saurin TA, Rosso CB. O uso de Functional Resonance Analysis Method (Fram) na Análise de Integração entre Sistemas: Um Estudo no Contexto da Saúde. *Anais do IX Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação* 2019; 1(1):1-15.
14. Righi AW, Saurin TA. Engenharia de resiliência: um panorama de seus estudos e perspectivas de pesquisas futuras. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ABEPRO; 2011. p. 1-13.
15. McGill A, Smith D, McCloskey R, Morris P, Goudreau A, Veitch B. The Functional Resonance Analysis Method as a health care research methodology: a scoping review. *JBIM Evid Synth* 2022; 20(4):1074-1097.
16. Santos LJ, Ribeiro SA, Schimitz EA, Silva MF, Alencar AJSM. Risk Factors in the Software Deployment Phase: A Case Study Applied in two Brazilian Government Companies. *J Inform Systems Technol Manag* 2022; 19:e202219015.
17. Souza PA, Gandra B, Chaves ACC. Experiências sobre Imunização e o Papel da Atenção Primária à Saúde. *APS Rev* 2020; 2(3):267-271.
18. Carvalho PVR, Bellas H, Viana J, Nunes PC, Arcuri R, Fonseca VS, Carneiro APM, Jatobá A. Transformative dimensions of resilience and brittleness during health systems' collapse: a case study in Brazil using the Functional Resonance Analysis Method. *BMC Health Serv Res* 2023; 23(1):349.
19. Jatobá A, Carvalho PVR. Resiliência em saúde pública: preceitos, conceitos, desafios e perspectivas. *Saude Debate* 2022; 46(n. esp. 8):130-139.
20. Volken FGB, Rosário CR. The use of resilience engineering tools for fault propagation mitigation in sociotechnical systems. *Rev Gest Prod Oper Sistemas* 2021; 16(2):39.
21. Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial da União* 1988; 5 out.
22. Starfield B. *Atenção Primária - Equilíbrio entre necessidades de saúde, serviços e tecnologia*. Brasília: UNESCO, Ministério da Saúde; 2002.
23. Brasil. Ministério da Saúde (MS). *Plano Diretor de Tecnologia da Informação. DATASUS*. Brasília: MS; 2016.
24. Lima Filho SP, Silva MF, Oliveira J, Ruback L. Study about Gathering Features in Depression Detection' Problem with Health Professionals Community. *iSys* 2022; 15(1):1-10.
25. Brasil. Ministério da Saúde (MS). *Plano Nacional de Operacionalização Da Vacinação Contra a Covid-19*. Vol 14. Brasília: MS; 2021.
26. Brasil (GT-AINFO). *Relatório de erros de registro* [Internet]. 2016 [acessado 2021 ago 28]. Disponível em: <http://pni.datasus.gov.br/sipni/Erros%20de%20Registro%20040516.docx>.
27. Hollnagel E. *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-Technical Systems*. CRC Press; 2012.
28. Hollnagel E, Hounsgaard J, Colligan L. *FRAM-the Functional Resonance Analysis Method-a Handbook for the Practical Use of the Method*. 2014.
29. Roberto AC, Costa Júnior AL, Costa Júnior MM. Aplicação do método FRAM para análise da baixa cobertura vacinal do HPV no município de São José dos Campos. In: *Simpósio de Pesquisa Operacional e logística da Marinha*. São Paulo: Editora Blucher; 2020.
30. Wachs P. *Modelo para integração entre melhoria de procedimentos operacionais padronizados e capacitação de operadores de sistemas sócio-técnicos complexos*. Porto Alegre: UFRGS; 2016.

31. Petrillo A, Felice F, Petrillo L. The Analytic Functional Resonance Analysis to Improve Safety Management. In: *Operations Management - Emerging Trend in the Digital Era*. IntechOpen; 2021.
32. Arcuri R, Bellas HC, Ferreira DS, Bulhões B, Vidal MCR, Carvalho PVR, Jatobá A, Hollnagel E. On the brink of disruption: Applying Resilience Engineering to anticipate system performance under crisis. *Appl Ergon* 2022; 99:103632.
33. Carvalho EA, Gomes JO, Jatobá A, Silva MF, Carvalho PVR. Employing resilience engineering in eliciting software requirements for complex systems: experiments with the functional resonance analysis method (FRAM). *Cognit Technol Work* 2021; 23(1):65-83.
34. Yin RK. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2001.
35. Carvalho PVR. The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a mid-air collision to understand some characteristics of the air traffic management system resilience. *Reliab Eng Syst Saf* 2011; 96(11):1482-1498.
36. Fogaça LB. *Tomada de Decisão e Equilíbrio de Metas Conflitantes No Gerenciamento de Interrupções de Voo Em Empresa de Transporte Aéreo Regula* [dissertação]. Porto Alegre: PUCRS; 2015.
37. Priori FR, Saurin TA. Aplicação do fram para solução de problemas em sistemas sócio-técnicos complexos: estudo de caso em uma unidade hospitalar. *Rev Prod Online* 2019; 19(1):102-128.
38. Walker B, Gunderson L, Kinzig A, Folke C, Carpenter S, Schultz L. A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems. *Ecol Soc* 2006; 11(1):art13.

Artigo apresentado em 29/03/2024

Aprovado em 24/02/2025

Versão final apresentada em 26/02/2025

Editores-chefes: Maria Cecília de Souza Minayo, Romeu Gomes, Antônio Augusto Moura da Silva