

Visualização das coberturas vacinais por meio de Sistemas de Informação Geográficos

Projeto Orientado em Computação II - 2023/01
Relatório Final

Daniel Ferreira Abadi¹, Clodoveu A. Davis Jr.¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas - Departamento de Ciência da Computação
Belo Horizonte - MG - Brasil

{daniel.abadi, clodoveu}@dcc.ufmg.br

Resumo. *A vacinação desempenha um papel crucial no combate às doenças em todo o mundo, devido ao seu alto custo-benefício. A imunização da população tem se mostrado altamente eficaz, tendo inclusive possibilitado a erradicação de doenças como a poliomielite no Brasil. No entanto, tanto no Brasil quanto em outros países, tem sido observada uma preocupante queda na cobertura vacinal de diversos imunizantes, especialmente aqueles destinados a crianças. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe a criação de um sistema web interativo, com o intuito de fornecer uma forma de investigar e esclarecer as taxas de vacinação no contexto brasileiro.*

1. Introdução

A vacinação é amplamente reconhecida como a medida mais importante no combate às doenças em todo o mundo, devido ao seu excelente custo-benefício. É mais econômico produzir e distribuir vacinas para a população do que lidar com as consequências de doenças evitáveis. Por meio da vacinação, conseguimos combater doenças mortais e até mesmo erradicar algumas delas, como foi o caso do sarampo no Brasil em 2016.

No entanto, apesar dos avanços, temos enfrentado um movimento preocupante de queda na cobertura vacinal. Um exemplo disso é o ressurgimento do sarampo em 2018, com mais de 10.000 casos confirmados na época¹. Além do sarampo, outras doenças podem ressurgir devido à baixa cobertura vacinal, como a poliomielite, a rubéola e a difteria².

Essa diminuição da cobertura vacinal não é um problema exclusivo do Brasil. Atualmente, é uma questão global, afetando diversos imunizantes, principalmente aqueles voltados para a infância. Segundo dados da Unicef³, cerca de 25 milhões de crianças não receberam as três doses completas das vacinas contra difteria, tétano e coqueluche em 2021. Dessas crianças, 60% vivem em apenas 10 países, incluindo o Brasil. Além disso, aproximadamente 18 milhões de crianças não receberam nenhuma vacina.

¹<https://butantan.gov.br/noticias/doencas-erradicadas-podem-voltar-conheca-quatro-consequencias-graves-da-baixa-imunizacao-infantil>

²<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2018-07/saiba-quais-doencas-voltaram-ameacar-o-brasil>

³<https://data.unicef.org/topic/child-health/immunization/>

É importante ressaltar que as vacinas não são importantes apenas na infância. Elas também são essenciais para idosos, que precisam se imunizar contra a gripe anualmente, e para mulheres em idade fértil, prevenindo doenças que possam afetar o feto durante uma possível gestação. Além disso, profissionais de saúde que trabalham em campo precisam se proteger contra enfermidades.

Embora os dados apresentados sejam do ano de 2021, é importante destacar que a queda na cobertura vacinal já vem ocorrendo há alguns anos e que a pandemia de Covid-19 não foi a causa principal, mas sim um fator amplificador desse fenômeno⁴. Existem diversas razões para a queda da cobertura, além do isolamento social e das dificuldades logísticas decorrentes da pandemia. Uma delas é a falsa sensação de segurança por parte da população, que não convive com as doenças já controladas por meio da imunização e não sabe seus perigos.

Diante desse panorama, fica evidente a importância de monitorar continuamente a cobertura vacinal da população, a fim de criar planos de ação e tomar decisões adequadas. No contexto brasileiro, esse monitoramento é ainda mais desafiador devido à vasta extensão territorial, ao grande número de municípios e à desigualdade social elevada, que dificultam o acesso às informações governamentais.

O objetivo deste trabalho, portanto, é desenvolver uma ferramenta que permita o monitoramento da cobertura vacinal no Brasil. Essa ferramenta será projetada com visualizações interativas, proporcionando aos usuários uma compreensão mais abrangente da situação em diferentes níveis demográficos. Além disso, o sistema possibilitará a investigação e a formulação de políticas para fortalecer a cobertura vacinal.

2. Referencial teórico

Na década de 2000, com os avanços recentes em informações geográficas e tecnologias de mapeamento, estudos como o de [Higgins et al. 2008] observaram uma nova oportunidade para os administradores de saúde pública aprimorarem o monitoramento, análise e gerenciamento de sistemas de saúde. Argumentando que muitos dos dados gerados na área da saúde possuem uma dimensão espacial, o trabalho utilizou a ferramenta “Many Eyes”, uma plataforma gráfica web, para gerar novas perspectivas sobre os dados de vacinação nos Estados Unidos.

Uma das novas perspectivas geradas foi a utilização de mapas para obter uma visão geográfica da cobertura vacinal. Nesse sentido, [Higgins et al. 2008] observaram que havia padrões de agrupamento geográfico de crianças não vacinadas. Além disso, argumentou-se que esse tipo de visualização poderia auxiliar os usuários a identificar outros padrões relacionados à vacinação.

Na década de 2010, na Nigéria, [Barau et al. 2014] desenvolveram mapas precisos baseados em coordenadas para aperfeiçoar o planejamento das campanhas de vacinação contra a poliomielite. Ao contrário dos mapas desenhados à mão imprecisos anteriormente utilizados, esses novos mapas garantiam a inclusão de todos os assentamentos e a localização precisa das crianças. O objetivo principal desse trabalho era melhorar o planejamento e facilitar o rastreamento das equipes de vacinação nos 8 estados endêmicos

⁴<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/pandemia-de-covid-19-alimenta-o-maior-retrocesso-continuo-nas-vacinacoes-em-tres-decadas>

de poliomielite, resultando em uma cobertura vacinal aprimorada.

A criação de mapas mais precisos e abrangentes permitiu planejamentos que incluíram todos os assentamentos e atribuições de equipes mais eficientes, resultando em um melhor desempenho das equipes e na identificação de áreas com coberturas inadequadas. Segundo [Barau et al. 2014], concluiu-se que mapas precisos e completos são uma parte essencial de um planejamento de vacinação efetivo, fornecendo aos gestores de saúde uma ferramenta para garantir que todos os assentamentos sejam visitados.

No ano de 2016, diante da preocupação com a redução da cobertura vacinal, [Arroyo et al. 2020] propuseram a realização de um diagnóstico situacional que considerasse as diferentes regiões do Brasil e a tendência temporal da cobertura vacinal. O objetivo era identificar áreas com queda na cobertura vacinal para as vacinas BCG, poliomielite e tríplice viral. Por meio de uma análise espacial, foram examinadas as variações espaciais nas tendências temporais de cobertura vacinal, resultando na identificação de aglomerados significativos com tendências de redução da cobertura vacinal em todas as cinco regiões brasileiras.

Em consonância com as referências mencionadas, este trabalho apresenta uma proposta de criação de visualizações geográficas e não geográficas para o estudo e análise das diversas realidades relacionadas à vacinação no contexto brasileiro. Sua contribuição principal consiste na criação de uma ferramenta web que abarque essas informações em diferentes níveis geográficos, além do desenvolvimento de uma API que permita a realização de trabalhos adicionais com base nesses dados. Isso proporcionará uma abordagem abrangente e flexível para explorar e compreender a situação da vacinação no Brasil.

3. Contribuição

Esta seção tem como objetivo fornecer detalhes sobre a construção sistema desenvolvido nesta etapa do Projeto Orientado em Computação. Serão abordados o desenvolvimento do “frontend” e do “backend”, apresentando o que foi feito e as decisões tomadas.

Todo o projeto desenvolvido está armazenado na plataforma GitHub⁵. Essa ferramenta foi essencial para o gerenciamento das versões criadas, bem como uma forma segura de manter o progresso da implementação.

3.1. Concepção do sistema

Durante a execução do Projeto Orientado em Computação I, foi necessário coletar dados de diversos sites, incluindo sistemas governamentais e organizações. Entre esses sistemas, dois em particular se destacaram por seu design atraente e foram fontes de inspiração para este trabalho: o site do IBGE⁶ e o site do Atlas Brasil⁷. Esses sites não apenas influenciaram o visual do projeto, mas também forneceram ideias sobre os tipos de dados relevantes a serem apresentados nas páginas desenvolvidas. Além de sua aparência, a funcionalidade e as características desses sistemas foram valiosas referências para o desenvolvimento do projeto, contribuindo para um melhor entendimento de como os dados poderiam ser apresentados e explorados de forma eficaz.

⁵<https://github.com/danielabadi/Coberturas-Vacinais>

⁶<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>

⁷<http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/310620>

3.2. Banco de dados

Como fonte de dados para este trabalho, foi utilizado o banco de dados criado durante o Projeto Orientado em Computação I. Essa base de dados é composta por informações que viabilizam uma análise detalhada dos aspectos vacinais em nível municipal. Originalmente, o banco de dados foi desenvolvido utilizando o PostgreSQL e inclui dados relevantes, como população, indicadores econômicos, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), número de estabelecimentos do Sistema Único de Saúde (SUS) e cobertura vacinal em nível municipal.

Para atender ao propósito deste trabalho, foram realizadas modificações no banco de dados anteriormente criado. Uma dessas modificações foi a sumarização de algumas das tabelas municipais para tabelas estaduais, a fim de evitar cálculos em tempo de execução. Embora haja redundância nos dados, ela é significativamente menor, uma vez que há apenas 26 estados e o Distrito Federal para a sumarização.

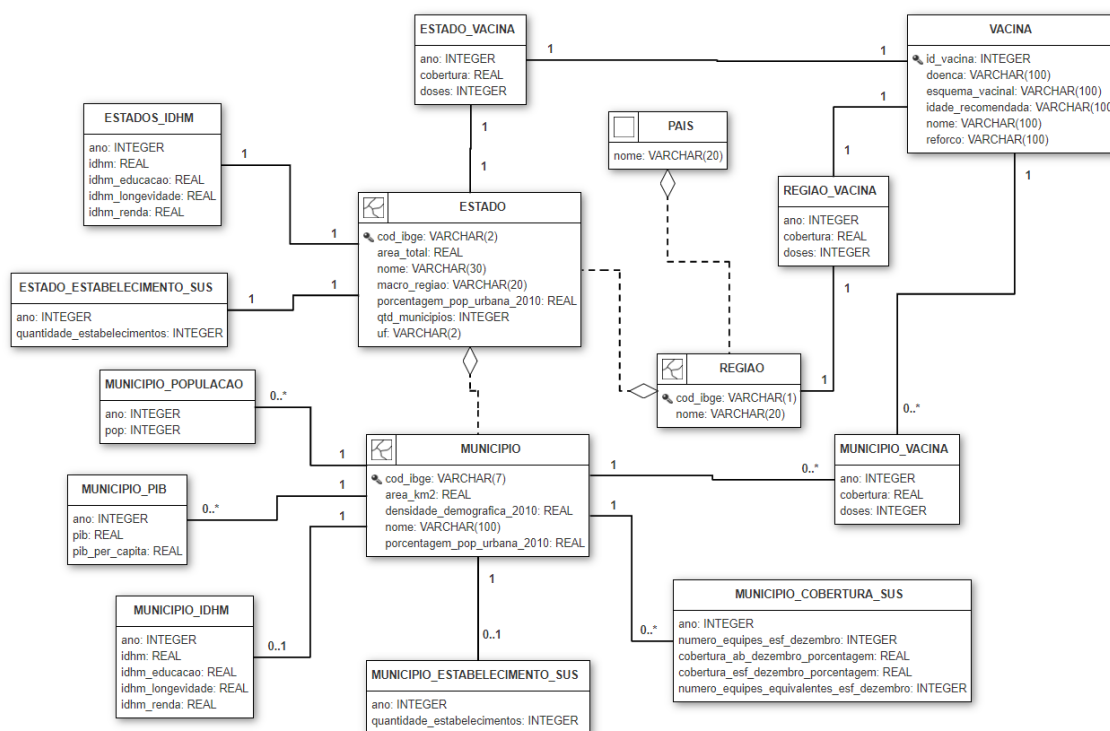


Figura 1. Esquema conceitual do banco de dados

O banco de dados consiste em 15 tabelas, uma para cada classe ilustrada na Figura 1, abrangendo o período de 2010 a 2021, que é o escopo do trabalho. A tabela correspondente ao país possui apenas atributos relacionados à geometria e ao nome. As tabelas correspondentes aos estados e aos 5.570 municípios abrangidos neste trabalho contém, além do nome e geometria, informações como a porcentagem da população urbana e a densidade demográfica, ambas do ano de 2010.

Os dados relacionados à economia, representados pela tabela “municipio_pib”, abrangem o período de 2010 a 2019, pois não havia dados mais recentes disponíveis. Essa tabela contém registros anuais do PIB e do PIB per capita dos municípios. No entanto,

nem todos os municípios estão presentes em todos os anos, o que é comum nos dados coletados.

A tabela “municipio_populacao” abrange o período de 2010 a 2021 e contém a população estimada. A tabela “municipio_cobertura_sus” também abrange o mesmo período e fornece informações sobre a cobertura populacional estimada das Equipes de Saúde da Família e das equipes de Atenção Básica, referentes ao mês de dezembro de cada ano. Assim como nos dados econômicos, nem todos os municípios estão presentes em todos os anos nesses casos.

Em contraste com os dados mencionados anteriormente, o IDHM e a quantidade de estabelecimentos de saúde SUS em cada município, representados pelas tabelas “municipio_idhm” e “municipio_estabelecimentos_sus”, respectivamente, são dados que possuem registros apenas para um único ano, mas que ainda podem ser acrescidos de novos dados de anos posteriores. Além disso, eles possuem uma versão a nível estadual, que é uma média em relação ao número de municípios. No caso do IDHM, as informações são do ano de 2010, e 30 municípios não estão inclusos. Já nos registros dos estabelecimentos de saúde, referentes ao ano de 2009, faltam dados de 5 municípios.

Ao todo, foram coletados dados de 24 imunizantes diferentes distribuídos pelo Programa Nacional de Imunizações (PNI), presentes nos registros coletados no período de 2010 a 2021. É importante salientar que a maioria dos imunizantes não está presente nos 12 anos coletados, como ilustrado nas Figuras 2 e 3.

É importante mencionar um aspecto relevante em relação à confiabilidade dos dados utilizados. Observa-se que existem vários municípios com coberturas vacinais muito baixas, inferiores a 10%. No entanto, os gestores de saúde desses municípios afirmam que os números oficiais não refletem a realidade e que a taxa de cobertura vacinal é significativamente maior⁸. É crucial considerar essa discussão ao utilizar os dados, uma vez que a falta de informações confiáveis pode impactar drasticamente os resultados obtidos por meio das análises.

3.3. Arquitetura

Para o propósito deste trabalho de criação de um sistema web interativo utilizando os dados do banco de dados construído no Projeto Orientado em Computação I, foi desenvolvida uma API (“Application Programming Interface”), que é uma forma padronizada de comunicação que permite que aplicativos e sistemas se conectem e compartilhem dados e funcionalidades entre si.

A decisão de criar uma API para conectar nosso “frontend” ao banco de dados foi motivada por algumas razões importantes. Um dos principais motivos para o uso de uma API é a separação de responsabilidades. A API atua como uma camada intermediária entre o “frontend” e o banco de dados, permitindo que este solicite e receba os dados necessários de maneira eficiente. Isso possibilita que cada camada do sistema seja atualizada e modificada de forma independente, facilitando a manutenção e o desenvolvimento do sistema como um todo.

Outro motivo importante para a utilização de uma API é a segurança dos dados. Ao conectar o “frontend” diretamente ao banco de dados, estaríamos expondo informa-

⁸Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-62980100>

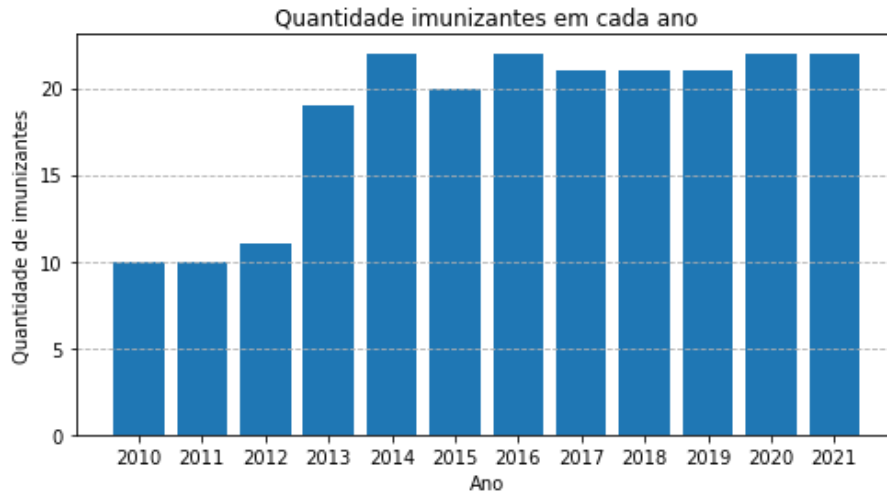


Figura 2. Número de imunizantes disponíveis a cada ano na plataforma DATASUS

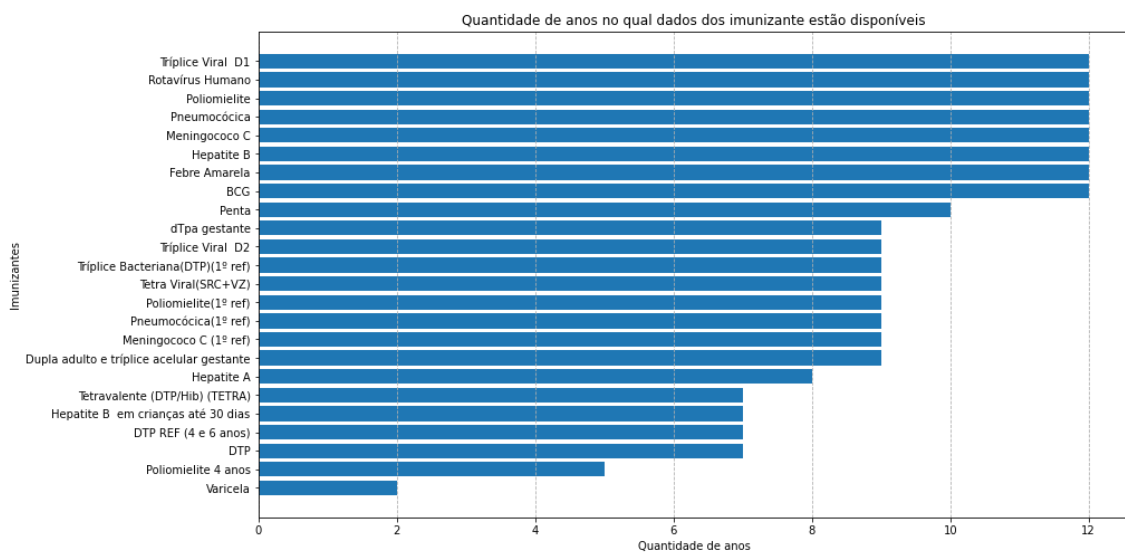


Figura 3. Número de anos em que os imunizantes estão disponíveis na plataforma DATASUS

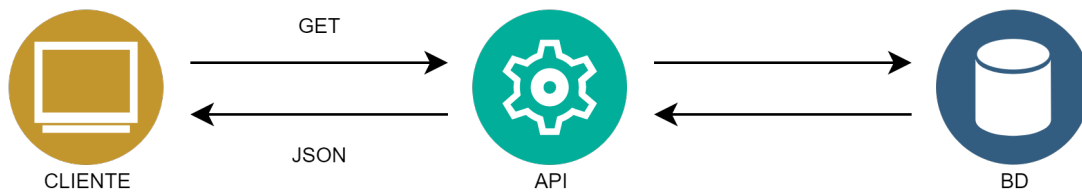


Figura 4. Arquitetura do sistema

ções sensíveis e criando possíveis vulnerabilidades. Por meio da API, temos uma melhor padronização e documentação dos “endpoints” disponíveis para o “frontend” garantindo que há um entendimento claro de como interagir com os dados do banco de dados. Isso ajuda a proteger a integridade e a confidencialidade dos dados armazenados no banco de dados.

Inicialmente foram desenvolvidas as rotas referentes aos municípios, retornando dados relacionados a vacinação e informações municipais. Também foram desenvolvidas rotas para os estados e regiões. Abaixo há a descrição dessas rotas, contendo a requisição, seus parâmetros e suas possíveis respostas.

3.3.1. Rotas dos municípios

Abaixo apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados à cobertura vacinal dos municípios brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações que serão utilizadas na visualização da série temporal referente à vacinação do município selecionado. Esses dados são essenciais para analisar e acompanhar a evolução da vacinação em um determinado município, permitindo uma visão mais detalhada e precisa do progresso da imunização ao longo do tempo.

Requisição: GET /api/v1/cities/coverage?city={city}

Parâmetros:

- city (obrigatório): Código IBGE do município.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém a cobertura de vacinação para o município solicitado. O corpo da resposta é um vetor de objetos com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do município.
 - cobertura (number): Percentual de cobertura de vacinação.
 - ano (number): Ano da cobertura de vacinação.
 - nome (string): Nome da vacina relacionada à cobertura.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados de cobertura de vacinação para o município solicitado. O corpo da resposta é um vetor vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

A seguir, temos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados às informações básicas dos municípios brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações que complementarão a análise, fornecendo dados adicionais para uma compreensão mais aprofundada das variações relacionadas à cobertura vacinal ao longo do tempo. Essas informações básicas dos municípios desempenham um papel fundamental na contextualização dos dados de vacinação, permitindo uma análise mais abrangente e enriquecedora da situação vacinal em cada localidade.

Requisição: GET /api/v1/cities/info?city={city}

Parâmetros:

- city (obrigatório): Código IBGE do município.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém as informações básicas para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do município.
 - municipio (string): Nome do município.
 - pop_urbana_2010 (number): Porcentagem da população urbana em 2010.
 - densidade_2010 (number): Densidade demográfica em 2010.
 - area (number): Área do município em quilômetros quadrados.
 - idhm (number): Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).
 - idhm_renda (number): IDHM referente à dimensão de renda.
 - idhm_long (string): IDHM referente à dimensão de longevidade.
 - idhm_edu (number): IDHM referente à dimensão de educação.
 - quantidade_estabelecimentos (string): Quantidade de estabelecimentos SUS no município.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

Abaixo, apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados às estimativas populacionais dos municípios brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações mais recentes sobre a população de um determinado município.

Requisição: GET /api/v1/cities/population?city={city}

Parâmetros:

- city (obrigatório): Código IBGE do município.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém a última estimativa da população para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do município.
 - ano (number): Ano referente a estimativa da população.
 - populacao (number): População estimada.

- 404 Not Found: Não foram encontrados dados da população para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

A seguir, apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados ao Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações mais atualizadas sobre o PIB de um determinado município. Esses dados são essenciais para uma análise abrangente da situação econômica e social de uma região, permitindo uma compreensão mais completa do contexto em que a cobertura vacinal está inserida.

Requisição: GET /api/v1/cities/pib?city={city}

Parâmetros:

- city (obrigatório): Código IBGE do município.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém informações do último PIB para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do município.
 - ano (number): Ano referente ao PIB e ao PIB per capita.
 - pib (number): Produto Interno Bruto (PIB).
 - pib_per_capita (number): PIB per capita.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados do PIB para o município solicitado. O corpo da resposta é um objeto vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

Abaixo, apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados à cobertura vacinal dos municípios brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações necessárias para a visualização dos dados em formato de mapa. A resposta retornada por esse “endpoint” é modificada para atender de maneira mais adequada a essa necessidade, permitindo uma representação visual eficiente dos dados de cobertura vacinal em um contexto geográfico.

Requisição: GET /api/v1/cities/map_coverage?vaccine={vaccine}&year={year}

Parâmetros:

- vaccine (obrigatório): Código do banco de dados referente ao imunizante.
- year (obrigatório): Ano.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém informações referentes a cobertura vacinal de todos os municípios para o ano solicitado. O corpo da resposta é um dicionário de objetos, onde a chave é o código IBGE do município com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do município.
 - cobertura (number): Cobertura vacinal Percentual de cobertura de vacinação.

- doses (number): Número de doses aplicadas.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados referentes a cobertura vacinal do imunizante ou no ano solicitado. O corpo da resposta é um vetor vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

3.3.2. Rotas dos estados

A seguir, temos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados às informações básicas dos estados brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações que complementarão a análise, fornecendo dados adicionais para uma compreensão mais aprofundada das variações relacionadas à cobertura vacinal ao longo do tempo.

Requisição: GET /api/v1/states/info?state={state}

Parâmetros:

- state (obrigatório): Código IBGE do estado.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém as informações básicas para o estado solicitado. O corpo da resposta é um objeto com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do estado.
 - pop_urbana_2010 (number): Porcentagem da população urbana em 2010.
 - densidade_2010 (number): Densidade demográfica em 2010.
 - area (number): Área do município em quilômetros quadrados.
 - idhm (number): Média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).
 - idhm_renda (number): Média do IDHM referente à dimensão de renda.
 - idhm_long (string): Média IDHM referente à dimensão de longevidade.
 - idhm_edu (number): Média IDHM referente à dimensão de educação.
 - qtd_municipios (string): Quantidade de municípios.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados para o estado solicitado. O corpo da resposta é um objeto vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

Abaixo, apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados à cobertura vacinal dos estados brasileiros. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações necessárias para as visualizações dos dados em formato geográfico. A resposta retornada por esse “endpoint” é modificada para atender de maneira mais adequada a essa necessidade.

Requisição: GET /api/v1/states/map_coverage?vaccine={vaccine}&year={year}

Parâmetros:

- vaccine (obrigatório): Código do banco de dados referente ao imunizante.
- year (obrigatório): Ano.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém informações referentes a cobertura vacinal de todos os estados para o ano solicitado. O corpo da resposta é um dicionário de objetos, onde a chave é o código IBGE do estado com as seguintes propriedades:
 - cod_ibge (string): Código IBGE do estado.
 - estado_uf (string): UF do estado.
 - vacina_id (string): Código do banco de dados referente ao imunizante
 - cobertura (number): Percentual de cobertura de vacinação.
 - doses (number): Número de doses aplicadas.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados referentes a cobertura vacinal do imunizante ou no ano solicitado. O corpo da resposta é um vetor vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

3.3.3. Rota das regiões

Abaixo apresentamos o “endpoint” responsável por fornecer dados relacionados à cobertura vacinal das regiões brasileiras. No contexto deste sistema, esse “endpoint” é utilizado para recuperar as informações que serão utilizadas nas visualizações da série temporal referente à vacinação das regiões. Esses dados são essenciais para analisar e acompanhar a evolução da vacinação no Brasil, permitindo uma visão mais detalhada e precisa do progresso da imunização ao longo do tempo, bem como uma comparação entre as regiões.

Requisição: GET /api/v1/regions/coverage?vaccine={vaccine}

Parâmetros:

- vaccine (obrigatório): Código do banco de dados referente ao imunizante.

Respostas:

- 200 OK: A requisição foi bem-sucedida e a resposta contém a cobertura de vacinação para todas as regiões. O corpo da resposta é um vetor de objetos com as seguintes propriedades:
 - regioao (string): Nome da região.
 - vacina_id (string): Código do banco de dados referente ao imunizante.
 - ano (number): Ano da cobertura de vacinação.
 - cobertura (number): Percentual de cobertura de vacinação.
 - doses (number): Número de doses aplicadas.
- 404 Not Found: Não foram encontrados dados de cobertura de vacinação para o imunizante solicitado. O corpo da resposta é um vetor vazio.
- 500 Internal Server Error: Ocorreu um erro durante o processamento da requisição.

3.4. Escolha das tecnologias do “backend”

A parte do sistema referente ao “backend” (API) foi criado utilizando três tecnologias principais, sendo elas o Node.js, Express.js e Knex.js. A primeira, e mais importante, é o Node.js que é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações de servidor e rede

baseada no motor de JavaScript do navegador Chrome. Ao contrário do JavaScript tradicional, que é executado no navegador do cliente, o Node.js permite que o JavaScript seja executado no servidor, permitindo a criação de aplicativos web e serviços de rede.

O Express.js é um framework leve e flexível que se baseia no Node.js. Ele fornece uma camada de abstração para simplificar o desenvolvimento de aplicações web. Com o Express.js, é possível criar rotas, gerenciar requisições e respostas. Sua simplicidade e modularidade permitem construir rapidamente APIs RESTful e aplicações web robustas, com uma estrutura organizada e de fácil manutenção. Excelente para o propósito deste trabalho, que foi realizado em apenas um semestre por uma única pessoa.

Por último, o Knex.js é uma biblioteca de consulta SQL para Node.js que fornece uma maneira elegante e flexível de interagir com bancos de dados relacionais. Ele atua como um construtor de consultas SQL e oferece suporte a diferentes bancos de dados, dentre eles o PostgreSQL, utilizado para armazenar os dados coletados no Projeto Orientado em Computação I.

Ao combinar essas três tecnologias, o sistema é capaz de oferecer uma solução completa e eficaz. O Node.js fornece a base sólida para a execução do código JavaScript do servidor, enquanto o Express.js simplifica o desenvolvimento da aplicação web, cuidando das rotas e requisições. O Knex.js facilita a interação com o banco de dados, permitindo manipular os dados de forma segura e eficiente.

3.5. Escolha das tecnologias do “frontend”

O “frontend” criado utiliza as tecnologias React, Leaflet.js e D3.js para fornecer uma experiência avançada de visualização de dados e interação com o usuário. O React é uma biblioteca JavaScript popular e eficiente para a construção de interfaces de usuário interativas. Com o React, podemos criar componentes reutilizáveis e modulares, facilitando a manutenção e o desenvolvimento do sistema, sendo essas propriedades excelentes para a natureza deste trabalho.

O Leaflet é uma biblioteca de código aberto que fornece recursos poderosos para exibir mapas interativos. Com o Leaflet, podemos incorporar mapas detalhados e personalizáveis ao sistema, além de adicionar camadas e marcadores. Ele nos permite explorar dados geoespaciais de forma intuitiva e interativa, proporcionando uma experiência rica ao usuário.

O D3.js (Data-Driven Documents) é uma biblioteca JavaScript amplamente utilizada para a visualização de dados. Com o D3.js, podemos criar gráficos e visualizações dinâmicas, transformando dados brutos em representações visuais. Ele oferece uma ampla gama de recursos e ferramentas para a criação de visualizações personalizadas e interativas, permitindo que os usuários explorem e compreendam melhor os dados apresentados.

Ao combinar o React, Leaflet.js e D3.js, o “frontend” do sistema se beneficia das vantagens de cada tecnologia. O React fornece uma estrutura robusta para construir a interface de usuário, enquanto o Leaflet.js oferece recursos poderosos de mapas interativos. O D3.js permite a criação de visualizações de dados dinâmicas e personalizadas, possibilitando a exploração e análise de informações de maneira envolvente.

Essas tecnologias trabalham em conjunto para criar um “frontend” sofisticado e intuitivo, fornecendo uma experiência de usuário envolvente e uma visualização clara e

compreensível dos dados. Com essa combinação, o sistema se torna uma poderosa ferramenta de análise e tomada de decisões, permitindo que os usuários explorem informações complexas de forma eficiente e interativa.

4. Resultados

O resultado final dos Projetos Orientados em Computação I e II consiste em um sistema web com um “frontend” dinâmico e interativo, que permite aos usuários explorar os dados relacionados à vacinação de forma amigável. O sistema é composto por quatro páginas, cada uma com um propósito.

A primeira página, conforme a Figura 5, tem o objetivo de fornecer o contexto e a motivação do projeto de conclusão de curso. Nela, é apresentada a contextualização do problema, destacando os desafios e a necessidade do trabalho. Também há uma seção de objetivos, que descreve o impacto esperado do sistema na comunidade acadêmica.

Motivação Municípios Regiões Baixa Cobertura

Contextualização

A vacinação é a medida mais importante para prevenir e combater doenças no mundo. É um investimento eficaz, pois é mais barato prevenir o contágio do que tratar possíveis pacientes. Com a vacinação, podemos combater doenças que antes eram mortais e até mesmo erradicá-las, como a poliomielite aqui no Brasil. No entanto, é preocupante observar a queda da cobertura vacinal, o que pode levar à reintrodução de doenças já controladas.

Atualmente, é notório que a cobertura vacinal de diversos imunizantes voltados para crianças está em declínio em todo o mundo. De acordo com dados divulgados pela *Unicef*, em 2021, cerca de 25 milhões de crianças não receberam as três doses das vacinas contra difteria, tétano e coqueluche, o que caracteriza a imunização completa. Além disso, 60% dessas crianças estão concentradas em apenas 10 países, entre eles o Brasil. A situação é ainda mais grave, pois aproximadamente 18 milhões de crianças em todo o mundo não foram vacinadas contra nenhuma doença.

Embora os dados apresentados sejam do ano de 2021, durante a pandemia do vírus SARS-CoV-2, há diversos fatores além das medidas de isolamento social e das dificuldades de distribuição e logística gerados pela pandemia que podem ser usados para explicar o motivo do declínio da cobertura vacinal. Um deles é a falsa sensação de segurança por parte da população, que não convive com as doenças já controladas por meio da vacinação e não sabe seus perigos. É importante salientar que este movimento de queda já vem ocorrendo há alguns anos, e que a pandemia não foi um causador, mas sim um **amplificador do fenômeno**.

Fica evidente, portanto, a importância do acompanhamento temporal da cobertura vacinal da população para permitir a criação de planos de ação e tomadas de decisão. No contexto brasileiro isso é ainda mais difícil dado sua extensão territorial, número de municípios e desigualdade social elevada, onde parte da população não tem acesso a informações governamentais.

Objetivo do projeto

Pretende-se que este sistema auxilie trabalhos como o de [\[Nóvoa et al., 2020\]](#) e [\[da Silva Oliveira et al., 2020\]](#), que buscam compreender as taxas de cobertura vacinal em níveis nacional, regional e municipal, evidenciando a necessidade de ações para a retomada das vacinações. Além disso, espera-se que este sistema possa oferecer uma análise de modo que possibilite a adoção e criação de medidas e estratégias mais eficientes para controle de doenças e a promoção da saúde pública.

Projeto Orientado em Computação 2023/4 - DCC - UFMG

Figura 5. Página de motivação

A segunda página é dedicada aos municípios individualmente. Nessa página, é possível realizar pesquisas pelo nome ou código IBGE das cidades, obtendo como resultado informações básicas e um gráfico de cobertura vacinal, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7. Os dados dos municípios foram cuidadosamente selecionados para fornecer uma visão abrangente de cada localidade, abrangendo desde a infraestrutura básica de saúde até informações econômicas e demográficas. Esses dados adicionais visam enriquecer a análise das coberturas vacinais, fornecendo mais insumos para uma compreensão mais completa da situação local.

O gráfico de cobertura vacinal, na Figura 7, é interativo, permitindo a adição ou remoção de imunizantes. Também é possível obter informações detalhadas ao passar o mouse sobre as curvas, revelando valores específicos de cobertura. A ideia por trás dessa visualização é oferecer uma visão geral da evolução dos imunizantes ao longo do tempo no município, facilitando comparações e identificação de possíveis tendências de queda ou aumento.

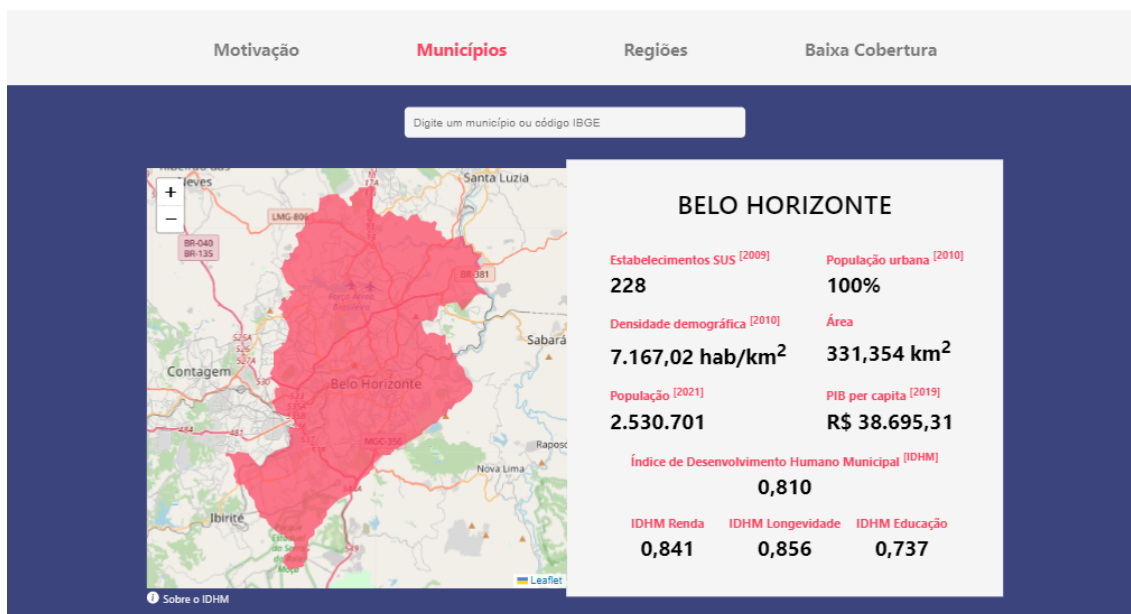


Figura 6. Página referente aos municípios

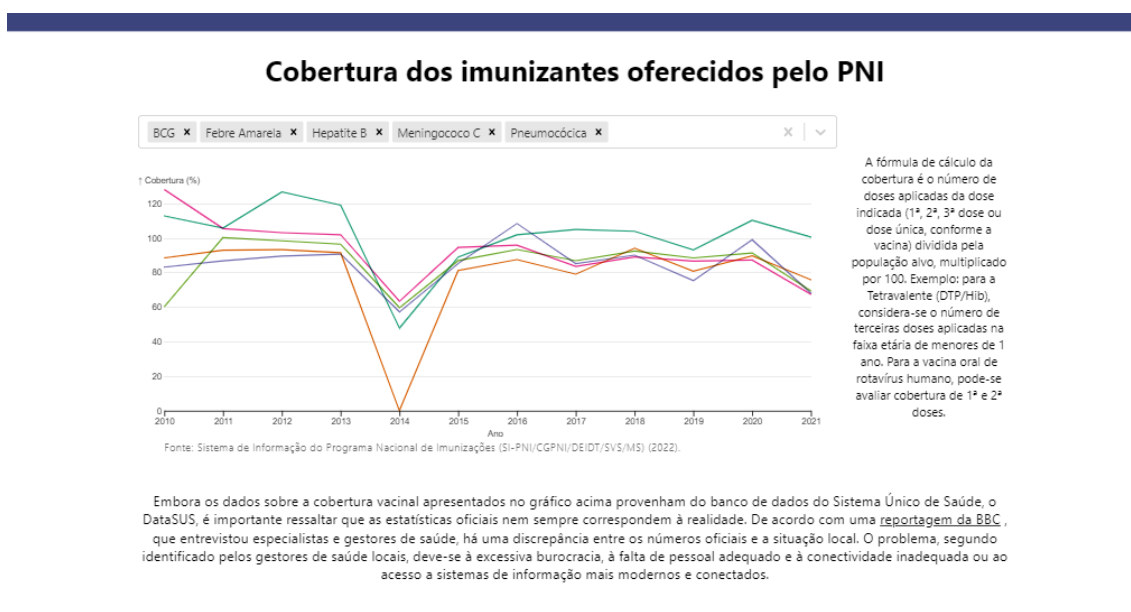


Figura 7. Página referente aos municípios

A terceira página apresenta informações relacionadas aos estados e regiões brasileiras. A primeira parte dessa página, mostrada na Figura 8, concentra-se nos estados, utilizando um mapa de coropleta para representar a cobertura vacinal. As cores mais intensas indicam uma cobertura vacinal mais alta. Os usuários têm a opção de selecionar o ano e o imunizante desejados. Ao clicar em um estado, a seção adjacente é atualizada com os dados básicos do estado, com o mesmo objetivo dos dados presentes na página de municípios, e uma janela no mapa exibe a cobertura e o número de doses aplicadas. Essa visualização permite uma análise mais ampla em nível nacional, mostrando a evolução ao longo dos anos para cada estado.

A segunda parte da página das regiões exibe duas visualizações complementares. A primeira é um ranking das regiões brasileiras ao longo dos anos, classificadas de acordo com a cobertura vacinal. Ao passar o mouse sobre cada ponto do ranking, é possível visualizar a cobertura e o número de doses aplicadas. A segunda visualização mostra a evolução da taxa de cobertura vacinal, proporcionando uma compreensão mais completa da tendência ao longo dos anos. Ambas as visualizações são específicas para o imunizante selecionado no mapa coroplético.

Por fim, a página de baixa cobertura destaca os municípios e regiões com cobertura vacinal abaixo do esperado para um determinado imunizante. Conforme exemplificado na Figura 10, um mapa coroplético exibe a cor dos municípios de acordo com sua região, sendo que cores mais intensas indicam coberturas vacinais mais baixas, então quanto mais o mapa do Brasil está colorido pior é taxa de vacinação no geral.

Ao lado do mapa, há uma matriz de quadrados que exibe os 400 municípios com as menores taxas de cobertura. Essa representação visual tem como objetivo destacar as regiões mais afetadas. Ao clicar em um quadrado, o município correspondente é realçado no mapa, e ao passar o mouse sobre o quadrado, são exibidos o nome do município, a cobertura vacinal e o número de doses aplicadas.

É importante ressaltar que todas as páginas apresentam um aviso sobre a confiabilidade dos dados de cobertura vacinal, uma vez que, embora provenham do banco de dados do Sistema Único de Saúde (DataSUS), nem sempre refletem a realidade, como será discutido na Subseção 4.1. Além disso, todas as páginas incluem uma tabela contendo os imunobiológicos oferecidos pelo Programa Nacional de Imunizações (PNI), conforme ilustrado na Figura 11, com o intuito de fornecer informações mínimas sobre cada imunizante na própria página, facilitando a busca por informações.

Além do sistema web desenvolvido, há dois outros resultados igualmente relevantes. O primeiro deles é o banco de dados, que pode ser explorado de diversas maneiras e utilizado em futuros trabalhos ou análises. Sua riqueza de informações oferece a possibilidade de investigar outros aspectos relacionados à vacinação e enriquecer estudos posteriores. O segundo resultado é a API desenvolvida, que proporciona flexibilidade no uso dos dados. Ela permite apresentar as informações de maneiras diferentes, além de possibilitar a adição de novas rotas com dados complementares. Essa versatilidade da API amplia as possibilidades de utilização e incentiva a criação de soluções inovadoras que explorem os dados de forma mais abrangente e adaptada às necessidades específicas de diferentes usuários e projetos.

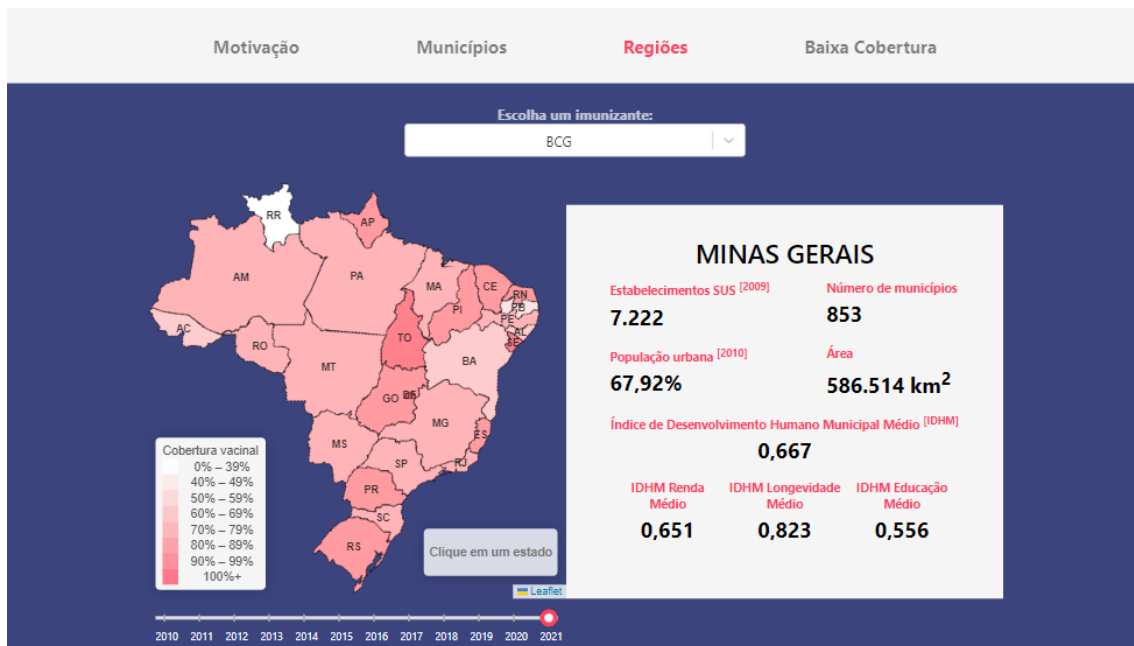
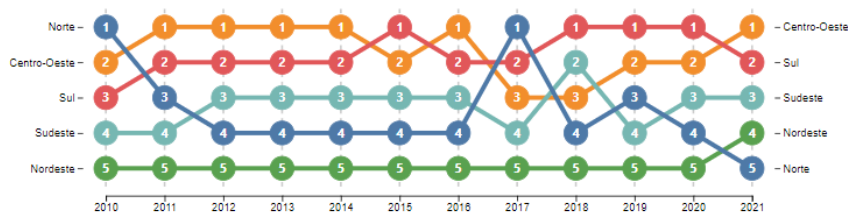


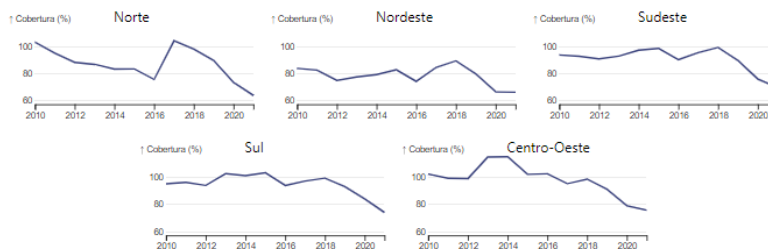
Figura 8. Página referente às regiões e estados

Ranking das regiões ao longo dos anos de acordo com a cobertura



Fonte: Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI)/CGPNI/DEIDT/SVS/MS (2022).

Evolução da taxa de cobertura vacinal



Fonte: Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI)/CGPNI/DEIDT/SVS/MS (2022).

Figura 9. Página referente às regiões e estados

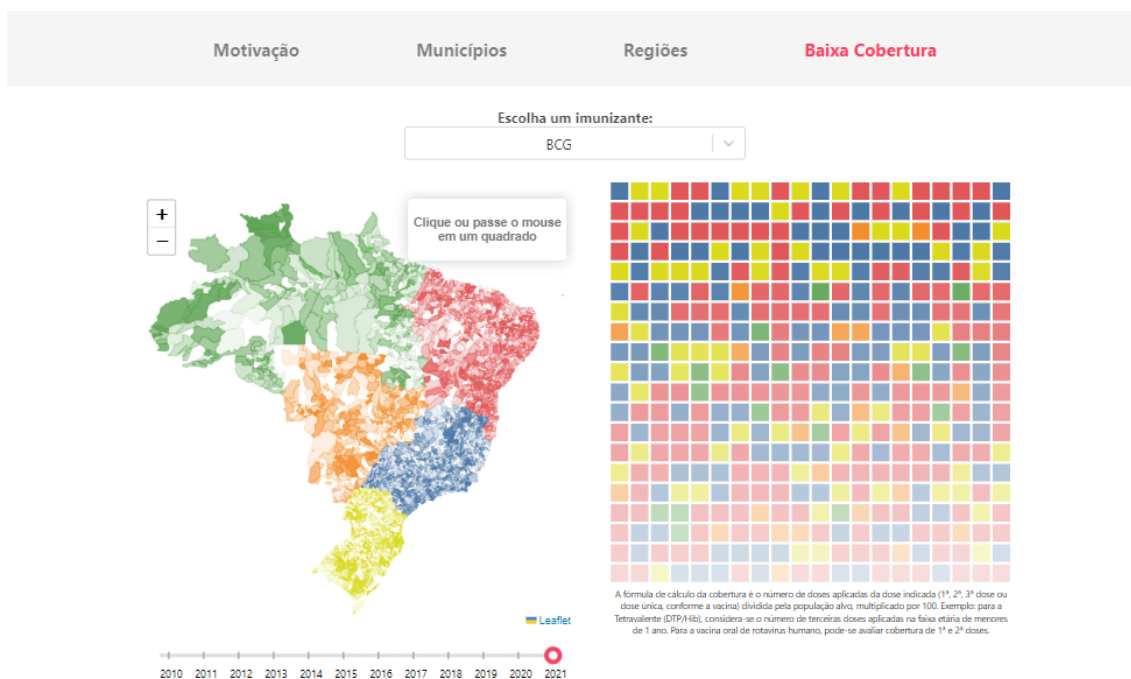


Figura 10. Página referente a baixa cobertura

4.1. Análises

Antes de prosseguirmos com as análises, é crucial destacar que os dados de cobertura vacinal são provenientes do banco de dados do Sistema Único de Saúde (DataSUS). No entanto, é importante considerar que as estatísticas oficiais nem sempre refletem a realidade. De acordo com uma reportagem da BBC⁹, que entrevistou especialistas e gestores de saúde, existem discrepâncias entre os números oficiais e a situação local.

Os gestores de saúde identificaram alguns desafios que podem impactar a precisão dos dados. Esses desafios incluem a excessiva burocracia, a falta de pessoal adequado e a conectividade inadequada ou o acesso limitado a sistemas de informação modernos e conectados.

Um exemplo que ilustra essa discrepância é o município de Trajano de Moraes, que apresentou baixos índices de cobertura vacinal para todos os imunizantes a partir de 2019, como demonstrado na Figura 12 com alguns exemplos. Em setembro de 2022, a coordenadora de imunização do município informou que as doses aplicadas não eram registradas adequadamente no sistema. Ela também apontou que existem diferenças nos sistemas de informática utilizados em cada local de vacinação, o que gera problemas e dificuldades na migração dos dados. A coordenadora afirmou que a realidade da cobertura vacinal é significativamente diferente do que é relatado nos dados oficiais.

Essas questões ressaltam a importância de interpretar os dados de cobertura vacinal com cautela e considerar as possíveis limitações e discrepâncias entre os números oficiais e a situação real em cada localidade. É fundamental ter em mente que os dados podem não refletir completamente a realidade da vacinação e que análises adicionais e fontes de informação complementares podem ser necessárias para uma compreensão

⁹<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-62980100>

Imunizações
Tabela de Imunobiológicos oferecidos pelo PNI

Vacina	Proteção Contra	Esquema Básico	Reforço	Idade recomendada
BCG	Formas graves de tuberculose, meningea e miliar	Dose única	Sem reforço	Ao nascer
DTP	Difteria, Tétano e Coqueluche	Considerar doses anteriores com penta e DTP	Um reforço com a vacina DTP REF (4 e 6 anos)	15 meses
dTpa gestante	Difteria, Tétano e Coqueluche	Uma dose para gestantes a partir da 20ª semana de gravidez	Uma dose a cada gestação	Sem idade recomendada
DTP REF (4 e 6 anos)	Difteria, Tétano e Coqueluche	Considerar doses anteriores com penta e DTP	Sem reforço	4 a 6 anos de idade
Dupla adulto e tripla acelular gestante	Difteria, Tétano e Coqueluche	Uma dose para gestantes a partir da 20ª semana de gravidez	Uma dose a cada gestação	Sem idade recomendada

Fonte: Programa Nacional de Imunizações.
Nota: Os esquemas de doses e público-alvo variam ao longo do tempo. Esta tabela corresponde ao esquema vacinal recomendado; eventualmente, há situações reais ocorridas que não correspondem exatamente a este esquema.

Projeto Orientado em Computação 2023/1 - DCC - UFMG
Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG
daniel.abadi@dcc.ufmg.br

Figura 11. Tabela de imunizantes

abrangente da situação.

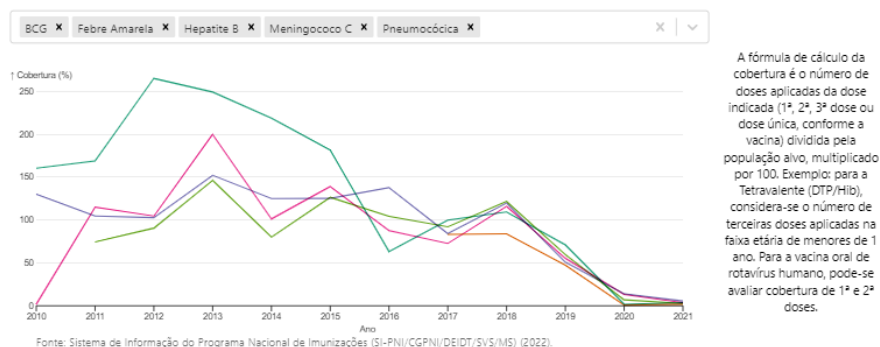
Uma análise importante a ser realizada é a queda na cobertura vacinal dos imunizantes ao longo dos anos. Na Figura 13, apresentamos três mapas coropléticos referentes ao imunizante BCG nos anos de 2010, 2016 e 2021, respectivamente. É possível observar, por meio das intensidades das cores, uma clara diminuição na cobertura vacinal ao longo do tempo em praticamente todos os estados brasileiros.

Outro exemplo que segue a mesma tendência é a vacina contra a Hepatite B, ilustrada na Figura 14. Novamente, temos três mapas coropléticos para os anos de 2010, 2016 e 2021, nos quais é perceptível uma redução nos níveis de cobertura vacinal. Nesse caso, parece ter ocorrido uma queda significativa entre 2016 e 2021, possivelmente relacionada ao distanciamento social provocado pela pandemia da Covid-19, que pode ter contribuído para amplificar esse fenômeno em todo o Brasil.

Essa tendência também pode ser observada por meio da visualização na página de baixa cobertura, conforme demonstrado na Figura 15. Novamente, temos três mapas coropléticos para os anos de 2010, 2016 e 2021, específicos para o imunizante contra a Hepatite B. Podemos observar que, ao longo do tempo, mais e mais municípios apresentam intensidades mais elevadas no mapa, indicando uma maior incidência de baixa cobertura vacinal.

Essas análises evidenciam a preocupante queda na cobertura vacinal ao longo dos anos, destacando a importância de investigar as causas subjacentes a esse fenômeno e de tomar medidas para garantir uma cobertura vacinal adequada em todo o país. É necessário compreender os fatores que contribuem para essa queda e implementar estratégias eficazes para reverter essa tendência, protegendo assim a saúde da população e prevenindo doenças evitáveis.

Cobertura dos imunizantes oferecidos pelo PNI



Embora os dados sobre a cobertura vacinal apresentados no gráfico acima provenham do banco de dados do Sistema Único de Saúde, o DataSUS, é importante ressaltar que as estatísticas oficiais nem sempre correspondem à realidade. De acordo com uma reportagem da BBC, que entrevistou especialistas e gestores de saúde, há uma discrepância entre os números oficiais e a situação local. O problema, segundo identificado pelos gestores de saúde locais, deve-se à excessiva burocracia, à falta de pessoal adequado e à conectividade inadequada ou ao acesso a sistemas de informação mais modernos e conectados.

Figura 12. Coberturas vacinais do município de Trajano de Moraes

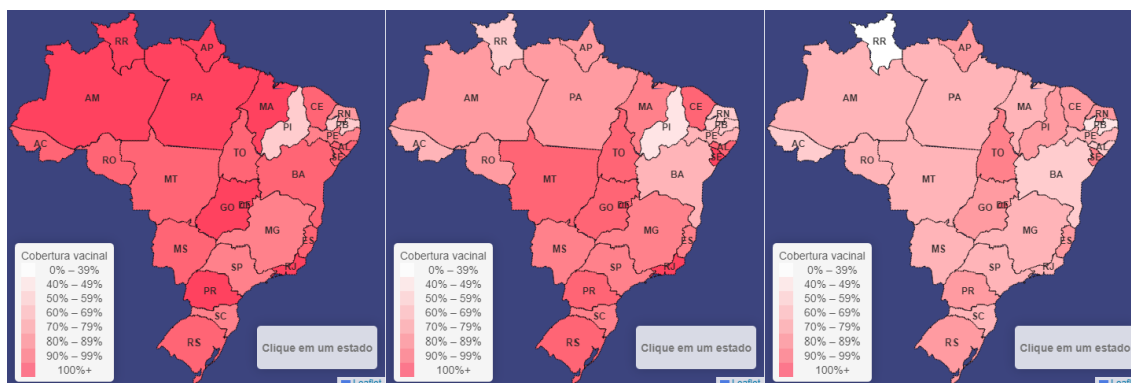


Figura 13. Comparação da cobertura vacinal do imunizante BCG ao longo dos anos

5. Conclusão

A partir do que foi desenvolvido nos Projetos Orientados em Computação I e II, existem diversas oportunidades para realizar análises adicionais, uma vez que nem todos os dados coletados e processados foram explorados completamente. Uma análise possível seria utilizar a cobertura populacional estimada das Equipes de Saúde da Família e das equipes de Atenção Básica, buscando associar esses valores com as variações nas coberturas vacinais de um município. Outra abordagem interessante seria utilizar os dados do Produto Interno Bruto (PIB) ao longo dos anos para identificar possíveis correlações entre o crescimento econômico e as variações nas coberturas vacinais, considerando também outros fatores relevantes.

Quanto a possíveis trabalhos futuros, destaca-se a continuidade desse projeto, com o desenvolvimento de novas funcionalidades, páginas e gráficos. Essa expansão poderia ser realizada utilizando o banco de dados existente, a API ou até mesmo o próprio sistema web, uma vez que a arquitetura adotada é altamente flexível. Outra opção seria a atualiza-

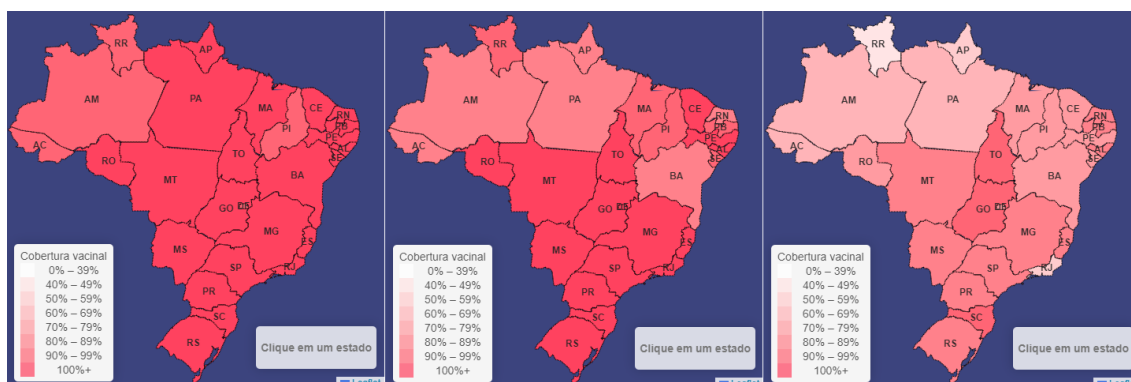


Figura 14. Comparação da cobertura vacinal do imunizante que age contra a Hepatite B ao longo dos anos

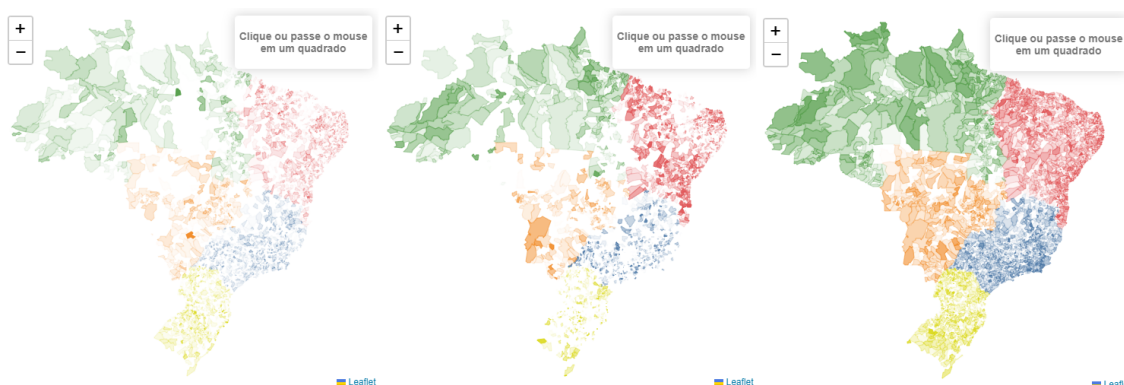


Figura 15. Cobertura vacinal da Hepatite B ao longo dos anos

ção contínua dos dados no sistema, pois tanto a API quanto o “frontend” estão preparados para receber novas informações, permitindo assim que o sistema permaneça atualizado e relevante ao longo do tempo.

Referências

- [Arroyo et al. 2020] Arroyo, L. H., Ramos, A. C. V., Yamamura, M., Weiller, T. H., Crispim, J. d. A., Cartagena-Ramos, D., Fuentealba-Torres, M., Santos, D. T. d., Palha, P. F., and Arcêncio, R. A. (2020). Áreas com queda da cobertura vacinal para bcg, poliomielite e tríplice viral no brasil (2006-2016): mapas da heterogeneidade regional. *Cadernos de Saúde Pública*, 36.
- [Barau et al. 2014] Barau, I., Zubairu, M., Mwanza, M. N., and Seaman, V. Y. (2014). Improving polio vaccination coverage in nigeria through the use of geographic information system technology. *The Journal of infectious diseases*, 210(suppl_1):S102–S110.
- [Higgins et al. 2008] Higgins, R., Li, G., Ahmad, T., and Ytzen, R. (2008). Visualizing polio vaccination trends in the united states: Status of the nation.