



Universidade de Brasília  
Departamento de Estatística

Mortalidade adulta por covid-19 na Área Metropolitana de Brasília no  
período 2020-2021

Marcelo Pereira de Souza Fleury

Projeto apresentado para o Departamento de Estatística da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

Brasília  
2022

**Marcelo Pereira de Souza Fleury**

**Mortalidade adulta por covid-19 na Área Metropolitana de Brasília no  
período 2020-2021**

Orientador(a): Ana Maria Nogales Vasconcelos.  
Coorientador(a): Valéria Maria Rodrigues Fechine.

Projeto apresentado para o Departamento de Estatística da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

**Brasília  
2022**

# Agradecimentos

Ao encerrar esta jornada acadêmica, é com profunda gratidão e emoção que dedico estas palavras de agradecimento a todos que contribuíram para o término de um capítulo importante em minha vida e de reconhecer aqueles que me apoiaram incansavelmente ao longo desta trajetória desafiadora.

Aos meus pais, pelas inúmeras oportunidades que me proporcionaram ao longo da minha jornada. O constante incentivo a perseguir aquilo que minha curiosidade apontava e o reconhecimento e valorização de cada iniciativa que propus moldaram não apenas meu caráter, mas também meu desejo de explorar o mundo com confiança.

Aos meus queridos avós, tias e primos, por terem me acolhido de maneira tão calorosa e generosa. Cada um de vocês fez tudo ao seu alcance para criar um ambiente que não apenas me acolheu, mas também me ajudou a enfrentar cada desafio com serenidade.

A Laura, minha companheira, cuja presença iluminou cada passo da minha trajetória acadêmica e profissional dos últimos anos. Nos momentos de alegria, cada riso e comemoração foram tesouros inestimáveis. Nos momentos de cansaço, seu apoio e determinação me lembraram que cada esforço valeria a pena.

Aos meus velhos amigos Arturo, Clara, Elías, Fede e Marcos, cada encontro e desencontro foram peças fundamentais que contribuíram para meu amadurecimento. Profunda gratidão por estarem ao meu lado, celebrando cada vitória e superando cada desafio juntos, apesar da distância.

Aos meus novos amigos, Ed, Davi, Jéssica, Reis, Gabi e tantos outros conhecidos que viraram amigos e amigos que viraram conhecidos, que me acolheram com tanto carinho no Brasil. Com alguns, compartilhei o espaço de trabalho, trocando não apenas ideias, mas também risadas e momentos inesquecíveis. Com outros, percorri juntos as salas de aula, aprendendo não apenas com os livros, mas também uns com os outros.

À minha orientadora, Ana Maria Nogales Vasconcelos, e à minha coorientadora,

Valéria Maria Rodrigues Fechine, pelo apoio, orientação e dedicação ao longo do processo de elaboração deste trabalho de conclusão de curso. Suas contribuições foram essenciais para o êxito deste trabalho.

## Resumo

Este estudo visa analisar a mortalidade adulta por covid-19 na região da Área Metropolitana de Brasília (AMB), a partir dos Determinantes Sociais da Saúde (DSS), no período de 2020 a 2021. Por meio da Modelagem de Equações Estruturais (MEE), foi possível identificar uma associação significativa entre vulnerabilidade social e mortalidade adulta, evidenciando que níveis mais elevados de vulnerabilidade social estão relacionados a uma maior incidência de óbitos. Além disso, foram identificados fatores relevantes positivamente associados à vulnerabilidade social, como a falta de plano de saúde, emprego fora do setor público, baixa renda per capita, alta proporção da população negra e a presença de entulho nas comunidades. Esses resultados ressaltam a importância de abordar as desigualdades sociais, econômicas, ambientais e de infraestrutura para compreender o impacto da pandemia na AMB em termos de mortalidade.

Palavras-chaves: Determinantes Sociais da Saúde, Modelo de Equações Estruturais, Mortalidade, Desigualdade, Área Metropolitana de Brasília.

## Lista de Figuras

1	Modelo dos Determinantes Sociais da Mortalidade. . . . .	20
2	Delimitação da Área Metropolitana de Brasília (AMB). . . . .	21
3	Fluxograma com o passo a passo da MEE. . . . .	23
4	Diagrama de caminho de um modelo especificado . . . . .	27
5	Taxa padronizada de mortalidade por mil habitantes, por grupos de idade, 30 a 49, 50 a 59 e 60 a 69, respectivamente. Dados agrupados por renda. SIM (2020-2021). . . . .	45
6	Média dos indicadores por grupos de renda. Valores normalizados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023). . . . .	47
7	Correlação de Spearman para os indicadores selecionados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023). . . . .	49
8	Análise paralela. Determinação do número de fatores a ser retido. . . . .	51
9	Diagrama de caminho do modelo <b>(a)</b> . Modelo com 1 fator exógeno (Vulnerabilidade social) e 1 fator endógeno (Mortalidade adulta). . . . .	56
10	Diagrama de caminho do modelo <b>(b)</b> . Modelo com 1 fator exógeno (Infraestrutura precária) e 2 fatores endógenos (Vulnerabilidade social e Mortalidade adulta). . . . .	56

## Lista de Tabelas

1	Símbolos do diagrama de caminhos. . . . .	25
2	Descritiva dos indicadores selecionados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023). . . . .	42
3	Testes de Anderson-Darling de normalidade univariada para os indicadores selecionados. . . . .	44
4	Testes de Mardia de normalidade multivariada para os indicadores selecionados. . . . .	44
5	Testes de validação para a análise fatorial com os indicadores selecionados.	51
6	Resultados da análise fatorial exploratória de 2 fatores, com a exclusão dos indicadores de problemáticos. . . . .	52
7	Resultados da análise fatorial exploratória de 3 fatores, com a exclusão dos indicadores problemáticos. . . . .	53
8	Índice de ajuste dos modelos da análise de equações estruturais especificados.	55
9	Resultados da análise de equações estruturais para o modelo <b>(a)</b> . . . . .	58
10	Resultados da análise de equações estruturais para o modelo <b>(b)</b> . . . . .	60
11	Resultados da análise fatorial exploratória, utilizando 2 fatores. Sem exclusão de itens problemáticos. . . . .	72
12	Resultados da análise fatorial exploratória, utilizando 3 fatores. Sem exclusão de itens problemáticos. . . . .	73
13	Resultados da análise fatorial confirmatória considerando um fator de vulnerabilidade social. Comparação dos índices de ajuste para 3 modelos. . . . .	74
14	Resultados da análise fatorial confirmatória considerando 2 fatores: Vulnerabilidade social e Infraestrutura urbana precária. Comparação dos índices de ajuste para 3 modelos. . . . .	75
15	Índices de modificação para o modelo <b>(a)</b> . . . . .	76
16	Índices de modificação para o modelo <b>(b)</b> . . . . .	76

---

## **Lista de Quadros**

1	Índice de ajustes para modelos de equações estruturais. . . . .	32
2	Definição dos indicadores de interesse para composição das dimensões de análise. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023). . . . .	39
3	Resultados dos testes de adequação para a análise fatorial exploratória, utilizando 2 e 3 fatores. . . . .	73

## Lista de abreviaturas e siglas

AMB	Área Metropolitana de Brasília
CadÚnico	Cadastro Único para Programas Sociais
CDSS	Comissão dos Determinantes Sociais da Saúde
CID	Classificação Internacional de Doenças
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
covid-19	Coronavírus SARS-CoV-2
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DSS	Determinantes Sociais da Saúde
DF	Distrito Federal
GO	Goiás
IPEDF	Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal
MEE	Modelagem com Equações Estruturais
MS	Ministério da Saúde
PDAD	Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio
PMAD	Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílio
PMB	Periferia Metropolitana de Brasília
RA	Região Administrativa do Distrito Federal
SES-DF	Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal
SIM	Sistema de Informações de Mortalidade
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
WHO	World Health Organization
CFI	Comparative Fit Index
TLI	Tucker-Lewis Index
RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation
SRMR	Standardized Root Mean Square Residual
KMO	Critério de Kaiser-Meyer-Olkin



## Sumário

<b>1 Introdução</b> . . . . .	13
<b>2 Objetivos</b> . . . . .	15
2.1 Objetivo Geral . . . . .	15
2.2 Objetivos Específicos . . . . .	15
<b>3 Referencial teórico-metodológico</b> . . . . .	16
3.1 Determinantes sociais da Saúde (DSS) . . . . .	16
3.1.1 Modelos conceituais dos DSS . . . . .	16
3.1.2 Determinantes Sociais da Mortalidade por covid-19 . . . . .	18
3.1.3 Caracterização da desigualdade na Área Metropolitana de Brasília (AMB) com base nos DSS . . . . .	21
3.2 Modelagem de Equações Estruturais (MEE): uma revisão . . . . .	23
3.2.1 MEE no contexto dos Determinantes Sociais da Mortalidade . . . . .	24
3.2.2 Definições e símbolos . . . . .	24
3.2.3 Especificação do modelo . . . . .	26
3.2.4 Identificação do modelo . . . . .	29
3.2.5 Estimação dos parâmetros . . . . .	29
3.2.6 Verificação do ajuste . . . . .	30
3.2.7 Estimação robusta de erros . . . . .	32
3.2.8 Teste de normalidade multivariada de Mardia . . . . .	32
3.2.9 Índice de modificação . . . . .	33
3.3 Análise fatorial exploratória . . . . .	33
3.3.1 Rotação oblíqua . . . . .	35
3.3.2 Teste de esfericidade de Bartlett . . . . .	35
3.3.3 Critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) . . . . .	35
<b>4 Metodologia</b> . . . . .	37
4.1 Desenho do estudo . . . . .	37

---

4.2 Dados . . . . .	37
4.3 Modelo conceitual e variáveis selecionadas. . . . .	38
4.4 Análise estatística . . . . .	40
4.5 Implementação computacional . . . . .	41
<b>5 Resultados . . . . .</b>	<b>42</b>
5.1 Visão geral dos indicadores de mortalidade, socioeconômicos, de saúde e de infraestrutura urbana na AMB. . . . .	42
5.1.1 Caracterização da desigualdade na AMB . . . . .	44
5.1.2 Análise de correlação entre os indicadores . . . . .	48
5.2 Análise fatorial exploratória. . . . .	51
5.3 Modelagem de equações estruturais . . . . .	55
<b>6 Contextualização dos resultados à luz dos DSS . . . . .</b>	<b>62</b>
<b>7 Conclusão . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>Anexo . . . . .</b>	<b>72</b>

# 1 Introdução

No período de 2020 a 2021, o estado de emergência em saúde pública provocado pela pandemia da covid-19<sup>1</sup> fez ressurgir a questão das disparidades sociais tanto no debate público, quanto na agenda do governo (SEGATTO et al., 2022). Neste caso, o período parece ser melhor caracterizado como uma sindemia<sup>2</sup>, já que se desenvolve em meio a complexas interações biológicas e sociais que agravam as desigualdades em saúde entre os grupos mais vulneráveis (MCGOWAN; BAMBRA, 2022; HORTON, 2020).

Os determinantes sociais da saúde (DSS) podem ter um efeito considerável nos resultados da covid-19 (ABRAMS; SZEFLER, 2020). Neste sentido, a relação entre saúde e seus determinantes não é um tema novo na literatura. Diversos marcos explicativos foram propostos ao longo da história, considerando as diferenças observáveis de saúde entre grupos de uma população e a sua relação com fatores sociais, econômicos, culturais, étnicos-raciais, psicológicos e comportamentais (BUSS; FILHO, 2007; FILHO, 2011).

O presente estudo aborda a mortalidade adulta (30 a 69 anos) por covid-19, associada aos Determinantes Sociais da Saúde (DSS). Assume-se que a população adulta está exposta a diferentes condições sociais, econômicas, culturais, políticas e ambientais, dadas pela região geográfica em que está inserida. A escolha desta faixa etária é relevante, uma vez que se refere a grupos com elevado risco de morte prematura por Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT) (WHO, 2013; CONFORTIN et al., 2019), condição que pode estar associada a um agravamento na severidade da covid-19, bem como exercer influência sobre a progressão de condições clínicas preexistentes (PALMER et al., 2020).

Delimita-se a observação para o período de 2020 a 2021 na região da Área Metropolitana de Brasília (AMB) que compreende o Distrito Federal e Periferia Metropolitana de Brasília (PMB), esta última composta por 12 municípios goianos. Segundo Vasconcelos *et al.* (2022b, p. 391) "o Distrito Federal apresenta profundas desigualdades no seu território, transbordadas na PMB, com abismos socioeconômicos e sociais, que se refletem diretamente no acesso à saúde e na qualidade da atenção. Essas desigualdades foram acentuadas na pandemia", conseqüentemente, é uma região importante para a compreensão das relações entre múltiplos fatores relacionados à mortalidade adulta, e seu estudo tem implicações para o desenvolvimento de programas de vigilância, prevenção e controle.

---

<sup>1</sup>Emprega-se o termo em letras minúsculas, conforme a orientação do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa (Academia das Ciências de Lisboa, 2022).

<sup>2</sup>Segundo Singer, a sindemia refere-se a "complexa a inter-relação entre crises sanitárias e sociais" (2000, p.99)

Utiliza-se a técnica de Modelagem de Equações Estruturais (MEE) com o objetivo de testar alguns modelos teóricos a partir das relações entre variáveis observadas e construtos latentes (SCHUMACKER; LOMAX, 2004). Além disso, para a construção do modelo será utilizada a análise fatorial, que auxiliará na compreensão das inter-relações entre as variáveis. As formulações teóricas e as relações entre as variáveis definem-se a partir da abordagem teórico-conceitual da determinação social do processo saúde-doença proposto por Melo, Costa e Corso (MELO; COSTA; CORSO, 2020). Os dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), da Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios (PMAD) e da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD), juntamente com outros bancos mencionados na seção 4.2, são empregados na elaboração de taxas e indicadores.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

Analisar os determinantes sociais da mortalidade adulta (30 a 69 anos) por covid-19 na Área Metropolitana de Brasília (AMB) no período de 2020 a 2021.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade dos dados utilizados, visando compreender suas limitações;
- Analisar as características sociais da mortalidade por localidade (Região Administrativa e município) segundo causas;
- Aprofundar no conhecimento da técnica de Modelagem de Equações Estruturais (MEE);
- Identificar os principais fatores associados às desigualdades do risco de morte por covid-19 em idades adultas na AMB.

## 3 Referencial teórico-metodológico

### 3.1 Determinantes sociais da Saúde (DSS)

#### 3.1.1 Modelos conceituais dos DSS

A pandemia de covid-19 destacou a importância de abordar os fatores que contribuem para as disparidades nos resultados de saúde e no acesso aos cuidados, com impactos duradouros no bem-estar de uma população (SEGATTO et al., 2022; CASTANHEIRA; MAIA; ROMERO, 2022). Neste sentido, diversos modelos foram propostos ao longo da história para entender os determinantes sociais das iniquidades em saúde, como o de Dahlgren e Whitehead, e o de Diderichsen e Hallqvist.

Segundo Buss e Filho (2007, p. 81):

O principal desafio dos estudos sobre as relações entre determinantes sociais e saúde consiste em estabelecer uma hierarquia de determinações entre os fatores mais gerais de natureza social, econômica, política e as mediações através das quais esses fatores incidem sobre a situação de saúde de grupos e pessoas, já que a relação de determinação não é uma simples relação direta de causa-efeito.

O modelo de Dahlgren e Whitehead destaca a interação entre os diferentes níveis de determinantes sociais da saúde e a importância de abordar todas as camadas para alcançar a equidade. Este modelo agrega os DSS em cinco níveis, incluindo fatores individuais, redes de relacionamentos, condicionantes socioeconômicos, culturais e ambientais. Por outro lado, o modelo Diderichsen e Hallqvist apresenta uma estrutura dinâmica, onde a posição social do indivíduo, resultado de diversos condicionantes econômicos, sociais e políticos, provocam diferenciais de saúde (FILHO, 2011).

O modelo de Solar e Irwin é fundamental para o estudo porque serve como base para outros modelos conceituais. Ele identifica duas categorias de fatores que contribuem para a saúde de um indivíduo: determinantes estruturais e determinantes intermediários. Os determinantes estruturais são os condicionantes sociais, econômicos e políticos mais amplos que moldam a distribuição da saúde e do bem-estar entre as populações, e geram ou reforçam a estratificação social existente. Estes fatores incluem o ambiente físico, disponibilidade e qualidade dos serviços de saúde, políticas públicas de controle e regulamentação, entre outros. Os determinantes organizam o processo de distribuição desigual de recursos, poder e prestígio, resultante em iniquidades em saúde. Neste sentido, segundo

a Comissão sobre Determinantes Sociais da Saúde da OMS (CDSS), os componentes para mensurar a estratificação social são a renda, educação, ocupação, classe social, gênero e raça/cor (SOLAR; IRWIN, 2010; CASTANHEIRA; MAIA; ROMERO, 2022).

A baixa renda e a pobreza têm sido consistentemente associadas a resultados em saúde, já que reforça hierarquias sociais, danifica os laços comunitários e diminui a capacidade de evitar riscos, curar lesões ou doenças. No entanto, a relação entre renda e saúde não é evidente, dado que países de maior renda *per capita* não são necessariamente os mais saudáveis, mas sim aqueles com melhor distribuição de renda (CASTANHEIRA; MAIA; ROMERO, 2022). Vale ressaltar que, a renda domiciliar pode ser um indicador útil, uma vez que os elementos de consumo e acumulação de riquezas são compartilhados entre os membros de uma família (SOLAR; IRWIN, 2010).

A educação está fortemente associada com as características da família e impacta no acesso ao mercado de trabalho e aos recursos econômicos. No entanto, esta inserção no mercado laboral apresenta seus próprios desafios e particularidades, já que a exposição a condições mais perigosas ou estressantes de trabalho tem um impacto negativo na saúde. Além disso, a ocupação do indivíduo tem relação com o controle da propriedade privada dos meios de produção, as condições da oferta da força de trabalho e as práticas adotadas para aquisição e acumulação de renda e capital, ou seja, refere-se também à construção de classe social (FILHO, 2011; SOLAR; IRWIN, 2010).

Enquanto alguns componentes têm relação direta com a reprodução material das condições de vida, outros componentes, como o gênero e a raça/cor, são uma construção sociocultural que organizam desigualmente os recursos a partir das atribuições culturais que a sociedade considera apropriadas para homens e mulheres. Neste sentido, as mulheres enfrentam riscos únicos, como mortalidade materna e desigualdades de saúde de gênero, além da subvalorização do trabalho feminino e a invisibilidade do trabalho doméstico. Assim também, o racismo sistêmico condiciona significativamente as trajetórias concretas e potenciais das pessoas. Neste sentido, no contexto da pandemia de covid-19, o risco de morrer apresenta diferenças importantes entre as populações branca, preta e indígena (CASTANHEIRA; MAIA; ROMERO, 2022; SOLAR; IRWIN, 2010).

Determinantes intermediários são os fatores do contexto individual que influenciam diretamente a saúde e o bem-estar. Os fatores incluem as características biológicas e comportamentais dos indivíduos, as circunstâncias materiais e ambientais, e o acesso a determinado sistema de saúde. Assim, indicadores relacionados a moradia, alimentação, exclusão social, acesso direto a cuidados de saúde de qualidade, determinam as diferenças na exposição e vulnerabilidade a condições que comprometam a saúde (SOLAR; IRWIN,

2010).

### **3.1.2 Determinantes Sociais da Mortalidade por covid-19**

Os determinantes sociais da saúde estão estreitamente ligados aos determinantes sociais da mortalidade, sendo este último centrado no risco de morte. No contexto desta pesquisa, aborda-se a mortalidade associada à covid-19, exigindo, assim, a análise dos fatores que impactaram as taxas observadas durante esse período.

Um estudo recente constatou que a desigualdade de renda pode exercer um impacto negativo no enfrentamento da pandemia de covid-19 no Brasil. As taxas de incidência e mortalidade da doença revelaram-se mais elevadas nos estados caracterizados por uma maior desigualdade econômica, mesmo após a consideração de fatores demográficos e espaciais. Enquanto os estados com maiores disparidades enfrentaram um significativo aumento nas taxas de morte por covid-19, aqueles com menor desigualdade registraram aumentos mais modestos (DEMENECH et al., 2020).

Ademais, diversos fatores, como o número básico de reprodução e a transmissão assintomática, também exercem influência nessa dinâmica. Aspectos relacionados ao isolamento de indivíduos enfermos em comunidades densamente povoadas configuram-se como elementos de relevância (ROCKLÖV; SJÖDIN, 2020).

Durante a pandemia, a escassez de acesso a serviços básicos de saneamento e infraestrutura domiciliar tem agravado a vulnerabilidade de populações marginalizadas. Indígenas, quilombolas, pessoas em situação de rua e outros grupos enfrentam desafios significativos na prevenção e controle da doença (FIOCRUZ, 2020).

Conforme destacado por Carvalho, Pires e Xavier (2020), os segmentos com menor nível educacional no Brasil enfrentam desafios relacionados aos fatores de risco, especialmente em relação à idade avançada (60 anos ou mais) e à presença de comorbidades. Entre esses grupos, é observada uma proporção significativa de indivíduos com 60 anos ou mais e comorbidades. Além disso, destaca-se que aqueles com apenas ensino fundamental apresentam uma prevalência aproximadamente três vezes maior de dois ou mais fatores de risco em comparação com aqueles que concluíram o ensino médio.

A pandemia afeta predominantemente trabalhadores não brancos e migrantes em condições socioeconômicas desfavoráveis. A ausência de dispositivos coletivos de organização dos trabalhadores, juntamente com a insegurança laboral, tem agravado as condições de trabalho e as vulnerabilidades durante esse período. Esse cenário dificulta a adoção de medidas de proteção pelos trabalhadores, comprometendo a eficácia do dis-

tanciamento social (SANTOS et al., 2020).

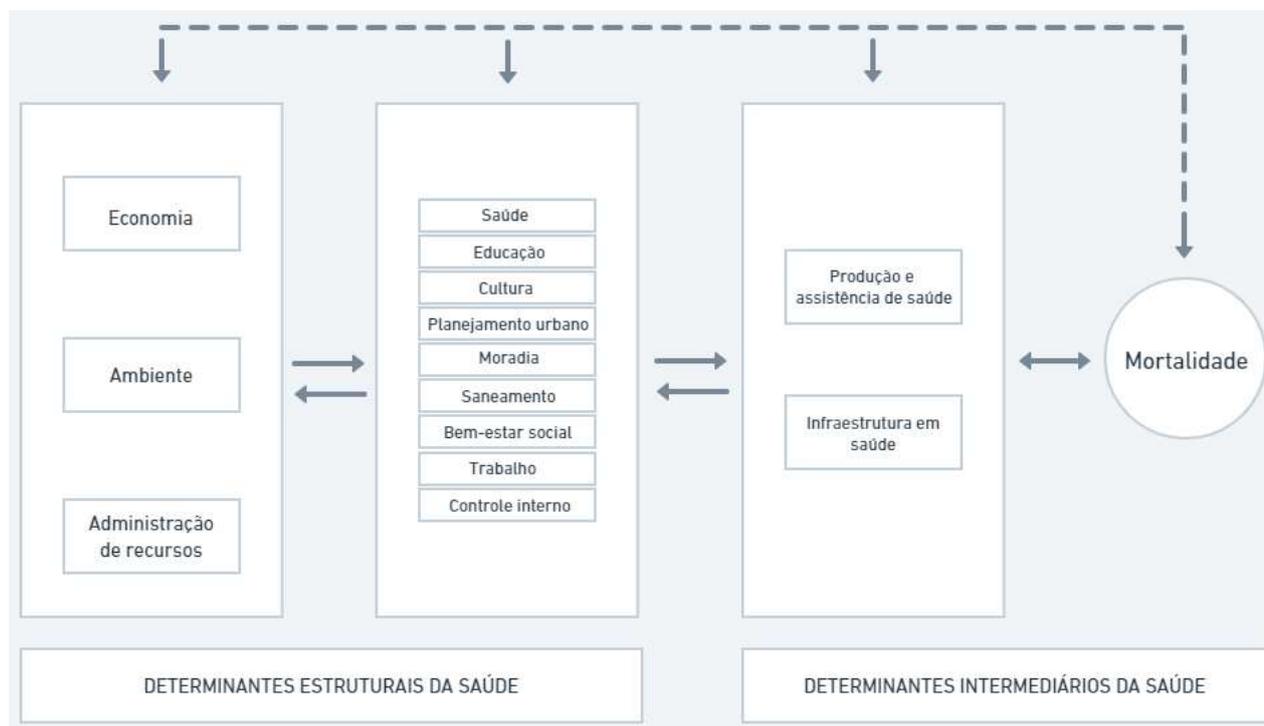
Os idosos enfrentam não apenas os desafios relacionados à elevada taxa de mortalidade associada à doença, mas também questões sociais, como o isolamento e a solidão decorrentes de exclusão familiar e social. A institucionalização agrava a situação ao reduzir os laços familiares e causar luto pela perda de entes queridos. A gradual perda de apoio social, incluindo a morte de cônjuges e amigos, pode agravar ainda mais a saúde mental dos idosos (JÚNIOR, 2021).

A população negra enfrenta múltiplas vulnerabilidades, como acesso limitado a serviços de saúde adequados, desemprego, desigualdades sociais e violência. Além disso, a falta de coleta de dados sobre raça/cor intensifica as desigualdades raciais durante a pandemia. O impacto do racismo estrutural é evidenciado pela elevada mortalidade de idosos negros, especialmente em algumas regiões do país, bem como pelas dificuldades de acesso aos serviços de saúde em comunidades quilombolas (ABRASCO, 2021).

As disparidades geográficas também foram consideradas como possíveis barreiras para o acesso aos cuidados de saúde. Os resultados indicaram que a pandemia pode gerar uma demanda significativa por leitos e equipamentos, principalmente em regiões com maior densidade populacional, e que a oferta privada de serviços de saúde pode contribuir para reduzir a pressão sobre o sistema público (NORONHA et al., 2020).

O estudo conduzido por Melo, Costa e Corso (2020) propõe um modelo conceitual dos Determinantes Sociais da Mortalidade que supera as limitações dos modelos citados na seção 3.1.1. Esse modelo oferece uma abordagem prática e sistemática para a seleção de indicadores e variáveis, permitindo que os formuladores de políticas identifiquem os fatores mais relevantes, desenvolvam políticas direcionadas e compreendam as causas das desigualdades em saúde. O modelo apresentado a seguir, foi construído com o propósito de facilitar a análise de sistemas de saúde em municípios brasileiros.

Figura 1: Modelo dos Determinantes Sociais da Mortalidade.

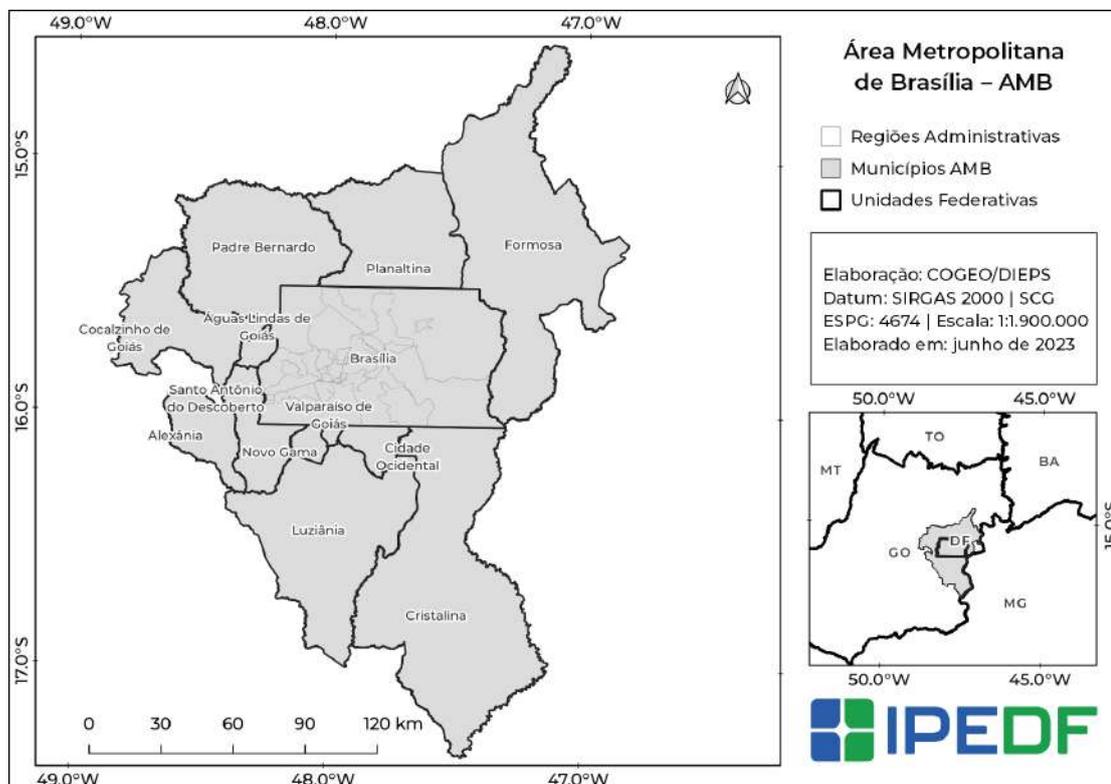


Fonte: Elaboração a partir de Melo, Costa e Corso 2020.

O objetivo do modelo proposto é ser mais operacional e reproduzível considerando modelos matemáticos ou estatísticos, o que pode contribuir para orientar estudos empíricos e definir estratégias relacionadas à saúde pública. Essa abordagem busca proporcionar uma visão mais prática e sistemática na seleção de indicadores e variáveis dos DSS, possibilitando a formulação de políticas de saúde direcionadas e um melhor entendimento das causas das desigualdades em saúde. No entanto, é importante ressaltar que a eficácia do modelo proposto dependerá da sua implementação e validação em cenários reais.

### 3.1.3 Caracterização da desigualdade na Área Metropolitana de Brasília (AMB) com base nos DSS

Figura 2: Delimitação da Área Metropolitana de Brasília (AMB).



Fonte: IPEDF, AMB, 2023.

A Área Metropolitana de Brasília (AMB) compreende o Distrito Federal, dividido em 33 Regiões Administrativas (RAs) e mais 12 municípios goianos que compõem a Periferia Metropolitana de Brasília (PMB). A desigualdade na AMB, como em diversas áreas urbanas, manifesta-se de várias maneiras, incluindo disparidade de renda, acesso desigual à educação, saúde e moradia, e distribuição assimétrica de oportunidades e recursos. Conseqüentemente, os indicadores sociais podem variar muito, com algumas áreas experimentando altos níveis de prosperidade e outras enfrentando desafios significativos (VASCONCELOS; PEREIRA; DUTRA, 2019).

A pandemia de covid-19 teve um impacto elevado na região, afetando o processo de produção/reprodução das desigualdades e a disseminação do vírus, influenciada por diversos determinantes sociais de saúde (DSS). Assim, a heterogeneidade das RAs em relação à renda, composição étnico-racial e escolaridade, é evidente. A população majoritariamente branca, com alta escolaridade e com maior acesso a planos de saúde, está

inserida nas RAs de maior renda. Por outro lado, nas RAs de média-baixa renda, existe uma população majoritariamente negra, com menor escolaridade e menor acesso a planos de saúde (VASCONCELOS et al., 2022a).

Particularmente, as RAs de renda média-baixa concentram pouco mais da metade da população do Distrito Federal e têm estreita ligação com os municípios goianos que compõem a PMB, compartilhando algumas das características estruturais citadas anteriormente. Assim, a composição da população é majoritariamente negra, com baixa escolaridade e com uma grande parcela sem acesso a um plano de saúde. Além das semelhanças, existe uma estreita comunicação entre a PMB e o Distrito Federal (DF), considerando o fluxo de pessoas que procuram serviços de saúde no DF, mesmo antes da pandemia. Neste sentido, há uma concentração de recursos médico-hospitalares nas regiões de alta e média-alta rendas (VASCONCELOS et al., 2022a). Assim também, o deslocamento por motivo laboral é um fator importante de desigualdade espacializada, já que quase metade dos trabalhadores das periferias de menor renda trabalham em RAs de maior renda, investindo muito tempo no trânsito (VASCONCELOS; PEREIRA; DUTRA, 2019).

O emprego é outro grande desafio, assim como em muitas áreas urbanas ao redor do mundo. O potencial produtivo na vida adulta (30 a 59 anos) na AMB desenvolve-se em meio a disparidades geradas por diferentes níveis de escolaridade, assim como por gênero e raça/cor. Neste sentido, a população feminina e negra ocupam os trabalhos de menor qualificação e remuneração, com uma maior participação no trabalho doméstico e o assalariado sem carteira assinada nas RAs de mais baixa renda. Por outro lado, um elevado número de trabalhadores em situação de desemprego ou na informalidade foram registrados durante a pandemia, particularmente nas áreas de menor renda. Além disso, existe uma maior exposição ao risco de adoecimento nesta região, por conta da não implementação ou da implementação parcial das medidas de controle decorrentes da precarização do trabalho durante a pandemia (VASCONCELOS et al., 2022a).

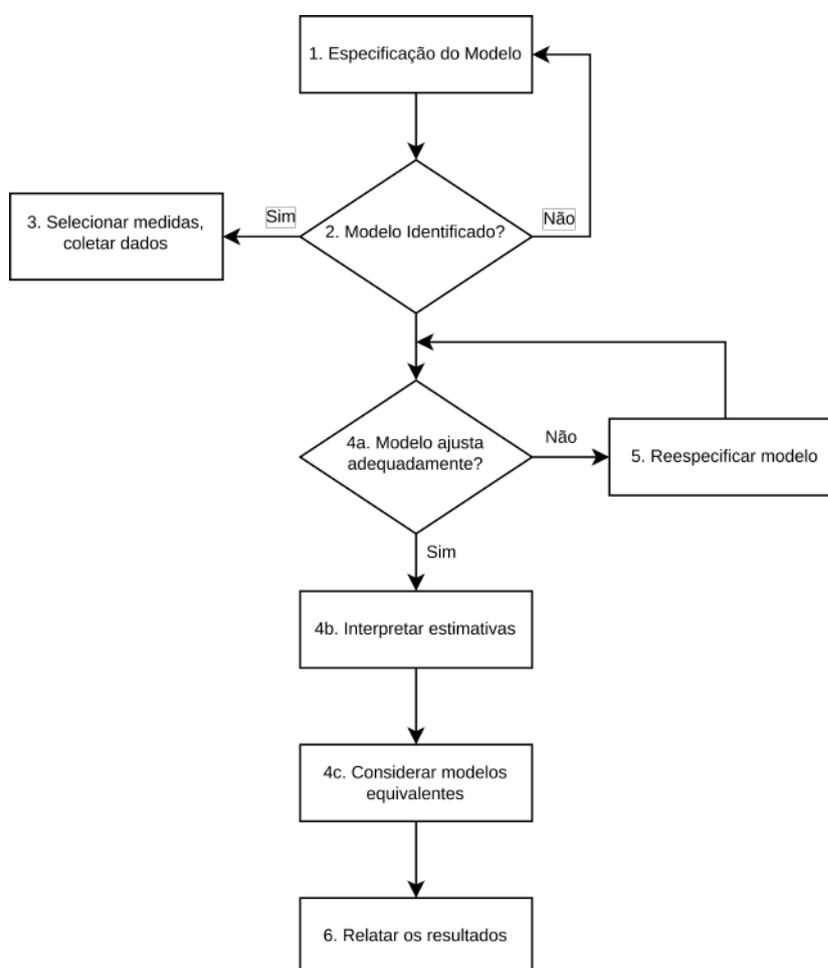
Por último, o registro da mortalidade durante a pandemia sofre com as consequências da desigualdade de recursos. A periferia teve um serviço de saúde limitado durante os períodos mais críticos da pandemia, evidenciado pela menor capacidade de atendimento e, conseqüentemente, menor capacidade de testagem. Além disso, o número reduzido de leitos e respiradores, foram insuficientes para os atendimentos de casos mais graves de covid-19, principalmente entre a população mais vulnerável, como idosos e pessoas com comorbidades (VASCONCELOS et al., 2022b).

### 3.2 Modelagem de Equações Estruturais (MEE): uma revisão

A modelagem de equações estruturais é uma técnica estatística utilizada para realizar testes em dados não experimentais e validar proposições teóricas. Seu propósito é estabelecer relações entre variáveis observadas e latentes por meio de componentes estruturais e de mensuração.

Existem 6 passos básicos seguidos na maioria das análises de equações estruturais.

Figura 3: Fluxograma com o passo a passo da MEE.



Fonte: Elaborado a partir de Kline, 2011

A seguir, serão apresentados os elementos e etapas fundamentais da Modelagem de Equações Estruturais, juntamente com uma breve revisão de estudos conduzidos no âmbito dos DSS.

### 3.2.1 MEE no contexto dos Determinantes Sociais da Mortalidade

Através da MEE, torna-se possível capturar as relações complexas abordadas nas seções anteriores e obter uma compreensão abrangente de como os determinantes interagem entre si e influenciam a saúde.

No artigo de Rios, Mompart e Wunsch (1992), empregou-se um modelo de análise causal que incorpora múltiplos indicadores e variáveis latentes. A abordagem se baseia em modelos estruturais lineares. Os resultados do estudo revelaram um impacto espacial significativo do uso do sistema de saúde nas taxas de mortalidade de adultos. No entanto, com exceção dos acidentes, a direção dessa relação contraria as expectativas. Os autores observaram que uma especificação mais precisa do modelo poderia potencialmente reverter essa conclusão.

Um estudo mais recente conduzido por Wirayuda (2022) utilizando dados de Omã, analisou a relação entre fatores sociodemográficos, macroeconômicos e de saúde e a expectativa de vida em Omã. Foram identificadas três principais variáveis que, se esperava, afetam a expectativa de vida. Os resultados mostraram que os fatores sociodemográficos e de saúde tiveram um impacto direto significativo na expectativa de vida, enquanto os fatores macroeconômicos não tiveram um efeito direto significativo.

Assim também, no estudo de Derso, Campolo e Alibrandi (2023), empregou-se MEE para investigar os principais fatores que influenciam a taxa de mortalidade infantil na Etiópia, com ênfase no impacto do PIB, taxa de fecundidade, gastos governamentais com saúde e imunização. Os resultados destacam a importância de reduzir a taxa de fecundidade, melhorar os cuidados materno-infantis e aumentar o PIB per capita como estratégias cruciais para diminuir a mortalidade infantil. Além disso, enfatiza a necessidade de investimento em saúde pública e acesso a serviços de planejamento familiar.

A MEE não apenas parece ser uma ferramenta valiosa para o estudo e aplicação em várias regiões do mundo, considerando diferentes unidades de observação, mas também desempenha um papel crucial na formulação de políticas públicas. A abordagem oferece uma base sólida para a tomada de decisões embasadas em evidências, possibilitando a formulação de políticas mais direcionadas e eficazes.

### 3.2.2 Definições e símbolos

Para facilitar a visualização das relações estabelecidas, utiliza-se o diagrama de caminhos. A análise de caminho foi desenvolvida por Wright como método estudar os

efeitos diretos e indiretos de variáveis a partir de construções teóricas estabelecidas *a priori* (SCHUMACKER; LOMAX, 2004).

A representação gráfica dos modelos de caminho adere a certas convenções comuns. As variáveis observadas são representadas por quadrados ou retângulos. As variáveis latentes são representadas por círculos ou elipses. Os caminhos de associação de efeitos diretos são representados por setas. As covariâncias entre pares de variáveis são representadas por uma curva de duas pontas (MULAIK, 2009).

Tabela 1: Símbolos do diagrama de caminhos.

Símbolo	Significado
	Variável latente
	Variável indicadora
	Efeito direto
	Variância ou covariância

No estudo em questão, existem algumas definições importantes que devem ser observadas. Uma variável latente é aquela que não pode ser diretamente observada, sendo medida a partir de outras variáveis observadas. Por sua vez, uma variável exógena pode ser uma variável independente observada  $\mathbf{x}$  ou uma variável latente  $\xi$ , responsável por explicar uma variável endógena. Já a variável endógena é uma variável dependente, podendo ser observada  $\mathbf{y}$  ou latente  $\eta$ , e explicada por uma ou mais variáveis exógenas (LIN, 2021).

Um modelo de mensuração é utilizado para conectar variáveis observadas com variáveis latentes (análise fatorial confirmatória). Um indicador representa uma variável observada presente em um modelo de mensuração, podendo ser tanto exógena quanto endógena. Um fator, por sua vez, é uma variável latente definida pelos seus indicadores, podendo ser tanto exógeno quanto endógeno. A carga se refere às correlações existentes entre um indicador e um fator.

Além disso, é importante mencionar que o estudo também considera o modelo estrutural, que especifica as relações entre variáveis exógenas e variáveis endógenas, podendo ser tanto observadas quanto latentes. Por fim, o *Regression path* representa o efeito das variáveis exógenas sobre as variáveis endógenas, que podem ser observadas ou latentes.

### 3.2.3 Especificação do modelo

A especificação refere-se ao processo de definição das relações entre as variáveis em um modelo, que podem ser observadas ou latentes. Baseia-se em uma estrutura teórica clara e em evidência empírica, e deve ser escolhida para melhor representar os dados que estão sendo analisados (KLINE, 2011; MULAIK, 2009).

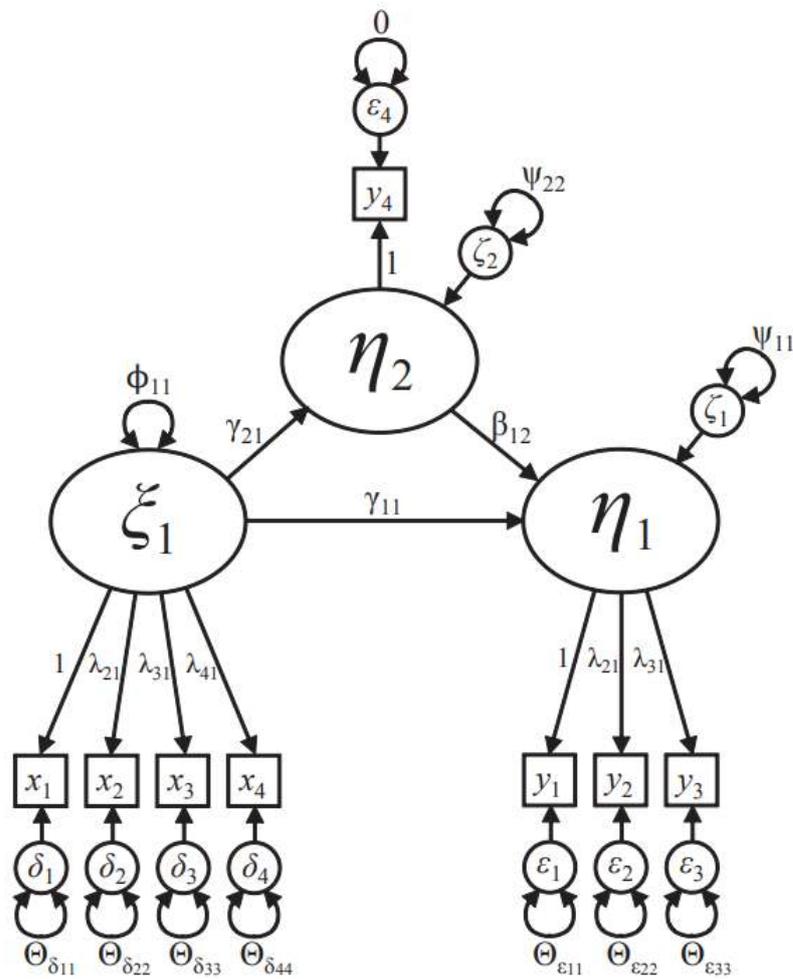
Existem diversas abordagens para a especificação do modelo, a depender da necessidade da pesquisa. Neste estudo, consideram-se as abordagens confirmatória e de modelos alternativos. Na abordagem confirmatória somente um modelo é especificado e testado. Por outro lado, na abordagem de modelos alternativos, mais de um modelo é especificado, sendo um deles o modelo-alvo. Neste caso, em primeiro lugar, o modelo-alvo é avaliado com referência aos dados observados e depois é comparado ao modelo alternativo (HOYLE, 2012).

Note que, o modelo é limitado pelo número de observações na matriz de covariância amostral na sua forma matricial diagonal inferior. Assim, a diferença entre o número de observações e o número de seus parâmetros, são os graus de liberdade do modelo (KLINE, 2011). Neste sentido, embora a modelagem de equações estruturais seja flexível, deve-se garantir uma única solução para as estimativas únicas de todos os parâmetros do modelo, procedimento descrito na seção 3.2.4 (HOYLE, 2012).

Consideram-se dois tipos de equações: equações de mensuração, que especificam as relações entre indicadores e variáveis latentes e equações estruturais, que especificam as relações entre variáveis latentes (HOYLE, 2012). Além disso, os formatos escolhidos para a especificação do modelo são o diagrama de caminhos e a representação matricial. Neste sentido, todas as informações do diagrama de caminho podem ser formalizadas por meio da notação matricial.

A seguir, um exemplo apresentado por Hoyle (2012).

Figura 4: Diagrama de caminho de um modelo especificado



Fonte: HOYLE, 2012

A seguinte expressão matricial diz respeito à variável latente exógena da figura 4. Em 3.2.2, a matriz de variância-covariância  $\Theta_{\delta}$  associada.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \lambda_{21} \\ \lambda_{31} \\ \lambda_{41} \end{bmatrix} \xi_1 + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

$$\Theta_{\delta} = \begin{bmatrix} \Theta_{\delta_{11}} & & & \\ 0 & \Theta_{\delta_{22}} & & \\ 0 & 0 & \Theta_{\delta_{33}} & \\ 0 & 0 & 0 & \Theta_{\delta_{44}} \end{bmatrix} \quad (3.2.2)$$

A matriz de variância-covariância da variável latente exógena é dada por 3.2.3. Note que, não tem covariância, já que só existe uma variável exógena latente.

$$\Phi = [\phi_{11}] \quad (3.2.3)$$

As duas variáveis latentes endógenas  $\eta_1$  e  $\eta_2$  são especificadas a seguir.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda_{21} & 0 \\ \lambda_{31} & 0 \\ \lambda_{41} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \epsilon_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.4)$$

A matriz de variância-covariância dos erros do modelo de mensuração  $\Theta$  é dada por:

$$\Theta_\epsilon = \begin{bmatrix} \Theta_{\epsilon_{11}} & & & \\ 0 & \Theta_{\epsilon_{22}} & & \\ 0 & 0 & \Theta_{\epsilon_{33}} & \\ 0 & 0 & 0 & \Theta_{\epsilon_{44}} \end{bmatrix} \quad (3.2.5)$$

Note como no modelo estrutural, a variável latente endógena  $\eta_1$  é especificada a partir da variável exógena e de outra variável endógena latente.

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_{12} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} [\xi_1] + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix} \quad (3.2.6)$$

Por último, a matriz de variância-covariância dos distúrbios  $\zeta_1$  e  $\zeta_2$  é dada por:

$$\Psi = \begin{bmatrix} \psi_{11} & \\ 0 & \psi_{22} \end{bmatrix} \quad (3.2.7)$$

Existem vantagens para o uso da notação matricial, por exemplo, evidencia os parâmetros fixados ou igualados a zero. Assim também, em alguns casos é necessário para a implementação de soluções computacionais.

Observe que, os modelos especificados neste estudo são limitados pelas variáveis disponíveis na base de dados e as condições em que elas foram coletadas.

### 3.2.4 Identificação do modelo

O problema de identificação refere-se à dificuldade de determinar a solução única para os parâmetros. Em outras palavras, refere-se à combinação de valores de parâmetros que melhor representa as verdadeiras associações subjacentes nos dados (KLINE, 2011).

Existem dois requisitos necessários para a identificação do modelo. O primeiro refere-se aos graus de liberdade ( $df_M$ ), ele deve ser maior ou igual a zero. O segundo diz respeito a escala das variáveis latentes. No entanto, apesar de serem necessários, isso não significa que sejam suficientes (KLINE, 2011).

O modelo é dito não identificável (*underidentified*) quando  $df_M < 0$ . Quando o modelo tem  $df_M = 0$ , ele é exatamente identificável (*just-identified*). Por último, é dito super-identificável (*overidentified*) quando  $df_M > 0$ . No primeiro caso é impossível obter uma estimativa única de todos os parâmetros do modelo, isto é, existem infinitas soluções possíveis e igualmente válidas. No segundo caso, é possível ter uma única estimativa para cada parâmetro livre, mas tais modelos não testam nenhuma hipótese específica, já que o modelo não pode ser refutado. Apenas o super-identificável fornece estatísticas de ajuste como um meio de avaliar o ajuste do modelo geral (KLINE, 2011; KENNY; MILAN, 2012).

Os erros podem ser representados como variáveis latentes, devendo, por isso, receber uma escala. Assim, são atribuídas escalas aos distúrbios nos modelos estruturais, e aos erros, nos modelos de mensuração. Para isso, é comum utilizar o *unit loading identification constraint*, isto é, os valores dos efeitos dos distúrbios e erros de mensuração são fixados em 1 (KLINE, 2011).

Cada parâmetro do modelo pode ser livre, fixo ou restrito, dependendo da construção teórica. Neste sentido, existem diversas estratégias para a restrição dos parâmetros. Assim, pode-se forçar as estimativas de dois ou mais parâmetros a serem iguais, a serem alguma proporção do outro, a serem maior ou menor que outro e a terem uma relação não linear entre eles (KLINE, 2011).

### 3.2.5 Estimação dos parâmetros

Os parâmetros do modelo são estimados minimizando a diferença entre matriz de variância-covariância amostral  $\mathbf{S}$  e matriz de variância-covariância do modelo  $\Sigma(\theta)$  (KLINE, 2011; MULAİK, 2009).

Geralmente utilizam-se métodos iterativos para estimar os parâmetros. Valores iniciais devem ser fornecidos para preencher uma matriz de variância-covariância intermediária  $\Sigma(\hat{\theta}_0)$ , a partir da qual será calculada um novo conjunto de valores por meio da minimização entre os valores obtidos e os valores da matriz de variância-covariância amostral. Quando os critérios de convergência são atendidos, diz-se que o modelo convergiu.

A estimação por máxima verossimilhança é a mais popular:

$$F_{ML} = \log|\Sigma(\theta)| + tr(\mathbf{S}\Sigma^{-1}(\theta)) - \log|\mathbf{S}| - p \quad (3.2.8)$$

Sob a suposição de normalidade multivariada das variáveis observadas, o estimador é assintoticamente consistente, não viesado, eficiente e normalmente distribuído.

Algumas variações do método foram desenvolvidas para lidar com a não normalidade, amostra pequena e valores faltantes. Neste sentido, o tamanho da amostra deve ser considerado com cuidado, pois pode levar à diminuição do poder estatístico, aumento do erro de estimativa e, até, na inviabilidade da identificação do modelo. Em alguns casos, menos de 200 observações pode acarretar problemas se o modelo for complexo (KLINE, 2011).

Cabe ressaltar que neste estudo será adotada a denominação "Estimativa Padronizada" para se referir à solução completamente padronizada, na qual tanto as variáveis latentes quanto seus indicadores são padronizados. Nessa abordagem, as cargas fatoriais podem ser interpretadas como coeficientes de regressão padronizados ou, no caso em que um indicador carrega exclusivamente em um único fator, a estimativa pode ser interpretada como a correlação entre o indicador e a variável latente correspondente (BROWN; MOOR, 2012).

### 3.2.6 Verificação do ajuste

O índice mais utilizado para verificação do ajuste é o de  $\chi^2$  (1). Neste sentido, A hipótese nula do ajuste de  $\chi^2$  é dada por:

$$H_0 : \Sigma_0 = \Sigma(\gamma_0) \quad (3.2.9)$$

onde  $\Sigma_0$  representa a matriz de covariância da população e  $\gamma_0$  é o vetor de parâmetros do modelo. Assim, a hipótese nula estabelece que a matriz de variância-

covariância estimada é igual à matriz de variância-covariância populacional.

Como visto na seção 3.2.5, o objetivo é encontrar um vetor de parâmetros estimados  $\hat{\gamma}$  que minimize a diferença entre a matriz de variância-covariância do modelo  $\Sigma(\gamma_0)$  e a matriz de variância-covariância amostral  $\mathbf{S}$ . A diferença entre  $\Sigma(\gamma_0)$  e  $\mathbf{S}$  é denominada função de discrepância.

$$F[\mathbf{S}, \Sigma(\gamma)] = \log|\Sigma(\gamma)| + \text{tr}(\mathbf{S}\Sigma^{-1}(\gamma)) - \log|\mathbf{S}| - p \quad (3.2.10)$$

Assim, de maneira equivalente, pode-se representar a hipótese nula como sendo:

$$H_0 : F_0 = 0 \quad (3.2.11)$$

Note que, a função de discrepância apresentada (3.2.10) é definida a partir da máxima verossimilhança.

A hipótese nula pode ser testada a partir da estatística do teste de razão de verossimilhança dado por  $T = (N - 1)\hat{F}$ , onde  $N$  é o tamanho da amostra e  $\hat{F}$  é o mínimo da função de ajuste quando o modelo converge, aplicado na amostra. Quando as suposições dos estimadores são atendidas, o ajuste segue aproximadamente uma distribuição  $\chi^2$  com graus de liberdade ( $df$ ) igual ao número de variâncias e covariâncias menos o número de parâmetros estimados do modelo (MULAIK, 2009; LEI; WU, 2012).

Existem outros índices utilizados para avaliar o ajuste do modelo. O *CFI* (*Comparative Fit Index*) examina a discrepância entre os dados e o modelo proposto, superando as limitações do tamanho da amostra no teste qui-quadrado. Valores iguais ou superiores a 0,95 são considerados muito bons, e valores entre 0,9 e 0,95 são considerados bons. O *TLI* (*Tucker-Lewis Index*), uma medida proporcional, quantifica a diferença entre os modelos de referência e alvo em relação a um modelo verdadeiro, penalizando modelos com muitos parâmetros e sendo insensível ao tamanho da amostra. O *RMSEA* (*Root Mean Square Error of Approximation*) é baseado na distribuição qui-quadrado, sendo considerado um bom ajuste quando seus valores são menores que 0,05. Valores acima de 0,08 ou 0,10 são considerados inaceitáveis, mas é importante notar que o *RMSEA* subestima o ajuste em amostras pequenas. Por fim, o *SRMR* (*Standardized Root Mean Square Residual*) converte os resíduos em uma métrica padronizada, sendo um indicador de ajuste amplamente utilizado. Um valor próximo a 0 indica um ajuste perfeito, enquanto valores acima de 1 indicam um modelo extremamente mal ajustado. Esses índices fornecem medidas úteis para avaliar e comparar modelos em estudos científicos (WEST STEPHEN G.; TAYLOR;

WU, 2012).

Quadro 1: Índice de ajustes para modelos de equações estruturais.

Índice de ajuste	Adequação do ajuste	Intervalo teórico	Critério de corte	Sensibilidade para N	Penalização por complexidade
(1) $\chi^2 = (N - 1)f$	Ruim	$\geq 0$	$p < 0,05$	Sim	Não
(2) $TLI = 1 - \frac{\chi_0^2/df_0 - \chi_k^2/df_k}{\chi_0^2/df_0}$	Bom	0-1	$> 0,95$	Não	Sim
(3) $CFI = \frac{\max(\chi_0^2 - df_0, 0) - \max(\chi_k^2 - df_k, 0)}{\max(\chi_0^2 - df_0, 0)}$	Bom	0-1	$> 0,95$	Não	Sim
(4) $RMSEA = \sqrt{\frac{\lambda_N}{df}} = \sqrt{\frac{\max(\chi^2 - df, 0)}{df(N-1)}}$	Ruim	$> 0$	$< 0,06$	Sim a N pequeno	Sim
(5) $SRMR = [p^* - 1(\mathbf{eW}_s\mathbf{e})]^1/2$	Ruim	$> 0$	$< 0,08$	Sim	Não

Fonte: Elaborado a partir de (WEST STEPHEN G.; TAYLOR; WU, 2012).

### 3.2.7 Estimação robusta de erros

Os modelos clássicos de equações estruturais assumem a normalidade das variáveis latentes, bem como dos erros de mensuração. No entanto, os dados observados raramente seguem uma distribuição normal, o que significa que a suposição de variáveis latentes e erros normais também é improvável de ser verdadeira. Uma pequena proporção de valores discrepantes leva a índices de ajuste inflados e viés nas estimativas dos parâmetros, mesmo que o modelo esteja correto para a maioria dos dados.

Conforme sugerido pela literatura, a estimação de máxima verossimilhança utilizando a teoria normal, em conjunto com as estatísticas ajustadas de Satorra e Bentler, demonstram melhor desempenho em amostras pequenas e quando há violação da normalidade multivariada (LEI; WU, 2012).

Para obter mais detalhes sobre o método, consulte os artigos de Satorra e Bentler (SATORRA; BENTLER, 1988; SATORRA; BENTLER, 2001).

### 3.2.8 Teste de normalidade multivariada de Mardia

O teste de Mardia tem como hipótese nula que as variáveis seguem uma distribuição normal multivariada. Para isso, verifica-se se a assimetria e a curtose multivariadas são consistentes com uma distribuição normal multivariada. Assim, considerando uma amostra p-variada de tamanho n, tem-se que a distribuição da hipótese nula para o teste de assimetria é dada por:

$$\frac{n}{6} \text{Assimetria} \sim \chi_{df}^2 \quad (3.2.12)$$

onde

$$df = \frac{p(p+1)(p+2)}{6}$$

Por outro lado, a hipótese nula considerando a curtose é dada por:

$$[\text{Curtose} - p(p+2)] \sqrt{\frac{n}{8p(p+2)}} \sim N(0, 1) \quad (3.2.13)$$

Para obter mais detalhes sobre o método, consulte o artigo de Mardia (MARDIA, 1970).

### 3.2.9 Índice de modificação

Os índices de modificação são frequentemente utilizados para estimar a redução esperada no valor do  $\chi^2$  global de um modelo quando um parâmetro fixo ou restrito for livremente estimado. Além disso, como os índices de modificação também são sensíveis ao tamanho da amostra, são apresentados os valores de mudança esperada de parâmetro (*EPC*), estimativa de quanto se espera que o parâmetro mude em uma direção positiva ou negativa se ele fosse livremente estimado em uma análise subsequente (BROWN; MOOR, 2012).

No entanto, é essencial ressaltar que esses índices nem sempre apontam diretamente para os parâmetros corretos e nem sempre refletem erros significativos de especificação. Além disso, modificar o modelo com base nesses índices pode apontar para resultados não replicáveis. Portanto, é necessário exercer cautela ao tirar conclusões sobre os possíveis efeitos da má especificação do modelo em relação aos resultados obtidos (BANDALOS; GAGNE, 2012).

## 3.3 Análise fatorial exploratória

A seguir são apresentados os resultados detalhados no trabalho de Johnson e Wichern (2007).

A Análise Fatorial é um método para modelar variáveis observadas e sua estrutura

de covariância em termos de um número menor de variáveis não observáveis (latentes).

$$\underset{(p \times 1)}{\mathbf{X}} - \underset{(p \times 1)}{\boldsymbol{\mu}} = \underset{(p \times m)}{\mathbf{L}} \underset{(m \times 1)}{\mathbf{F}} + \underset{(p \times 1)}{\boldsymbol{\epsilon}} \quad (3.3.1)$$

O coeficiente  $l_{ij}$  é chamado de carga da variável  $i$  no fator  $j$ , portanto, a matriz  $\mathbf{L}$  é a matriz de cargas fatoriais. Note que o fator específico  $\epsilon_i$  está associado apenas à  $i$ -ésima resposta  $X_i$ . Os  $p$  desvios  $X_1 - \mu_1, X_2 - \mu_2, \dots, X_p - \mu_p$  são expressos em termos de  $p + m$  variáveis aleatórias  $F_1, F_2, \dots, F_m, \epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_p$  que são não observáveis. Os vetores aleatórios  $\mathbf{F}$  e  $\boldsymbol{\epsilon}$  são independentes e satisfazem as seguintes condições:

$$E(\mathbf{F}) = \mathbf{0}, Cov(\mathbf{F}) = \mathbf{I} \quad (3.3.2)$$

$$E(\boldsymbol{\epsilon}) = \mathbf{0}, Cov(\boldsymbol{\epsilon}) = \boldsymbol{\Psi} \quad (3.3.3)$$

em que  $\boldsymbol{\Psi}$  é a matriz diagonal.

O método de estimação utilizado neste estudo é o de componentes principais. A matriz de covariância da amostra  $\mathbf{S}$  é especificada em termos de seus pares de autovalores e autovetores.

$$\boldsymbol{\Sigma} = \sum_{i=1}^p \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i' \cong \sum_{i=1}^m \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i' = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda_1} \mathbf{e}_1 & \sqrt{\lambda_2} \mathbf{e}_2 & \dots & \sqrt{\lambda_m} \mathbf{e}_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda_1} \mathbf{e}_1' \\ \sqrt{\lambda_2} \mathbf{e}_2' \\ \vdots \\ \sqrt{\lambda_m} \mathbf{e}_m' \end{pmatrix} = \mathbf{L} \mathbf{L}' \quad (3.3.4)$$

Deseja-se aproximar esta expressão. Em vez de somar de 1 a  $p$ , agora soma-se de 1 a  $m$ , ignorando os últimos  $p - m$  termos na soma. A representação em 3.3.4 ignora os  $\epsilon$  em  $\boldsymbol{\Sigma}$ .

Se fatores específicos forem incluídos no modelo, suas variâncias podem ser tomadas como os elementos diagonais de  $\boldsymbol{\Sigma} - \mathbf{L} \mathbf{L}'$ . Assim, a aproximação pode ser expressa de seguinte maneira:

$$\boldsymbol{\Sigma} = \mathbf{L} \mathbf{L}' + \boldsymbol{\Psi} \quad (3.3.5)$$

em que  $\psi_i$  é dada por:

$$\hat{\psi}_i = \sigma_{ii}^2 - \sum_{j=1}^m \lambda_j \hat{e}_{ji}^2 \quad (3.3.6)$$

### 3.3.1 Rotação oblíqua

As rotações ortogonais não são adequadas para um modelo de fatores em que se assume que os fatores comuns não são independentes.

Considerando os  $m$  fatores comuns como os eixos de coordenadas, o ponto com as  $m$  coordenadas  $\hat{l}_{i1}, \hat{l}_{i2}, \dots, \hat{l}_{im}$  representa a posição da  $i$ -ésima variável no espaço dos fatores. Ao agrupar as variáveis em conjuntos não sobrepostos, uma rotação oblíqua para uma estrutura simples implica uma rotação não rígida do sistema de coordenadas, onde os eixos rotacionados (não perpendiculares) passam pelos conjuntos. O objetivo de uma rotação oblíqua é expressar cada variável em termos de um número mínimo de fatores (JOHNSON; WICHERN, 2007).

### 3.3.2 Teste de esfericidade de Bartlett

O teste de esfericidade de Bartlett avalia a adequação da amostra, testando se a matriz de correlações é significativamente diferente da matriz identidade (TOBIAS; CARLSON, 1969). A hipótese nula afirma que a matriz de correlação da população é uma matriz identidade. Portanto, se a hipótese nula não for rejeitada, considera-se que o modelo fatorial é inadequado. A fórmula do teste é apresentada a seguir.

$$X^2 = -\left[(n-1) - \frac{2p+5}{6} \ln|R|\right] \quad (3.3.7)$$

onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $p$  o número de variáveis e  $|R|$  é o determinante da matriz de correlação.

### 3.3.3 Critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

O teste tem como objetivo quantificar a proporção da variância das variáveis que pode ser explicada pelos fatores (MATOS; RODRIGUES, 2019). O coeficiente KMO retorna valores no intervalo entre 0 e 1, sendo comumente aceito que valores entre 0,8 e 1 indicam que o modelo é apropriado para os dados, enquanto valores abaixo de 0,6 indicam que o modelo não é adequado. A fórmula é apresentada a seguir.

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} \sum p_{jk}^2} \quad (3.3.8)$$

onde  $r_{jk}$  é o coeficiente de correlação simples entre as variáveis  $X_j$  e  $X_k$  e  $p_{jk}$  é o coeficiente de correlação parcial entre  $X_j$  e  $X_k$ , dados os demais  $X_s$ .

## 4 Metodologia

### 4.1 Desenho do estudo

O presente estudo adota um desenho ecológico com cortes transversais nos anos de 2020 e 2021, tendo como unidades de análise observacional os 12 municípios goianos que compõem a Periferia Metropolitana de Brasília (PMB) e as 32 Regiões Administrativas do Distrito Federal<sup>3</sup>. A variável resposta é a mortalidade adulta, considerando a taxa padronizada de mortalidade adulta por mil habitantes para as faixas etárias de 30-49, 50-59 e 60-69 anos.

### 4.2 Dados

As informações sobre óbitos foram obtidas do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), com a especificação do local de residência por Região Administrativa (RA) ou município. Esses dados foram disponibilizados pela Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde e pela Secretaria de Estado da Saúde do Distrito Federal.

Para a caracterização dos óbitos, o SIM fornece variáveis como idade, sexo, causa, residência do falecido, entre outros. A variável causa básica de morte no SIM é codificada seguindo a 10<sup>a</sup> Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-10). O subtipo B34.2 é o código que identifica a infecção por coronavírus de localização não especificada (BRASIL, 2020).

A população de adultos foi extraída da projeção da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade (2010-2060) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a projeção populacional para as Regiões Administrativas do Distrito Federal (2020-2030) do Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal (IPDF) e da projeção da população Goiana (2011-2020) do Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (IMB). A estrutura etária da população brasileira foi utilizada como ponto de referência para a padronização direta da taxa de mortalidade.

Os indicadores relacionados aos determinantes sociais da saúde (DSS), foram extraídos a partir dos microdados da Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios (PMAD) de 2019 e 2020, que contém dados sobre o perfil socioeconômico dos moradores

---

<sup>3</sup>Existem 33 Regiões Administrativas, mas SIA foi removido por ser um setor industrial com poucas moradias fixas.

das áreas urbanas dos municípios que compõem a denominada Periferia Metropolitana de Brasília (PMB): Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Cristalina, Formosa, Luziânia, Novo Gama, Padre Bernardo, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto e Valparaíso de Goiás (CODEPLAN, 2021; CODEPLAN, 2014). Além disso, para o Distrito Federal empregou-se os microdados a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) realizada no período de Maio a Novembro de 2021, do perfil socioeconômico e demográfico das 33 Regiões Administrativas do Distrito Federal (CODEPLAN, 2022).

Um desafio enfrentado nesta pesquisa foi a dificuldade de obtenção de dados desagregados por Região Administrativa para o Distrito Federal, uma vez que Brasília é considerada um município. Além disso, as pesquisas domiciliares utilizadas foram coletadas em momentos distintos, o que pode introduzir variações temporais nos resultados. No que diz respeito aos dados de saúde, foram considerados os registros do CNES, que incluem o número de atendimentos de janeiro de 2023 para o Distrito Federal e janeiro de 2021 para os municípios goianos. Já os dados relacionados ao Programa Bolsa Família do CadÚnico foram extraídos do ano de 2022 para o Distrito Federal e 2023 para o estado de Goiás. É importante ressaltar que os dados de mortalidade provenientes do SIM/MS podem apresentar subnotificações devido a causas mal definidas.

### **4.3 Modelo conceitual e variáveis selecionadas**

Neste estudo o interesse é construir as hipóteses a partir do modelo teórico-conceitual proposto na seção 3.1.2. Para isso, os indicadores foram selecionados baseado na relevância teórica dos mesmos e na disponibilidade. A seguir a tabela com a lista dos indicadores.

Quadro 2: Definição dos indicadores de interesse para composição das dimensões de análise. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023).

Indicadores	Critério metodológico	Fonte
Renda per capita	Variável que mapeia a pressão econômica sobre as famílias, a exposição ao risco de contágio, e os impactos direto da distribuição da renda nos desfechos em saúde (DEMENECH et al., 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2017/2018
Densidade domiciliar – Habitantes por domicílio	Proxy de urbanização e de presença de aglomerados urbanos – maior risco de transmissão inerente à conectividade das atividades urbanas e do transporte público de massa (ROCKLÖV; SJÖDIN, 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Ambiente domiciliar – Pessoas por banheiros no domicílio	Variável que mapeia o acesso à infraestrutura domiciliar básica para higienização pessoal, o que contribui para reduzir o risco de contágio (??).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Infraestrutura urbana – % de não tem rua asfaltada, não tem rua iluminada, tem entulho, tem esgoto a céu aberto	Variáveis que mapeiam as condições habitacionais, o que contribui com as dificuldades de moradia digna e desigualdades sociais, expõe às pessoas à outras doenças e fragilidades de saúde (FIOCRUZ, 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual de população sem ensino superior – Pessoas sem ensino superior pelo número de habitantes	População com ensino superior é menos vulnerável a empregos informais e mais flexível no que se refere à capacidade de praticar o isolamento social. Além disso, a escolarização também incorre no maior cuidado à saúde e na capacidade de captar e executar recomendações básicas de saúde (CARVALHO; PIRES; XAVIER, 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual que não é servidor público – Pessoas com atividades ocupacionais fora do setor público pelo número de habitantes	População que trabalha no setor público é menos vulnerável, pois tem a capacidade de trabalhar remotamente durante a pandemia, tem maior capacidade de praticar o isolamento social. Além disso, a atividade profissional também incorre no maior cuidado à saúde e na capacidade de captar e executar recomendações básicas de saúde (SANTOS et al., 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual de domicílios beneficiados com o Programa Bolsa Família pelo número total de domicílios	Variáveis que mapeiam a vulnerabilidade social nos territórios. Esta impõe restrições à adesão ao isolamento social e aumenta sua exposição ao risco de contágio (PAIVA et al., 2020).	CadÚnico 2022 e 2023
Percentual da população com 60 anos ou mais	Variável que mapeia a estrutura etária dos municípios/RA, controle necessário tendo em vista o risco de morte por covid-19 mais elevado para a população idosa (JÚNIOR, 2021).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual da população negra (negros e pardos)	Variável que mapeia o racismo estrutural dos municípios/RA, população que teve maior risco de morte por covid-19, devido às desigualdades raciais (ABRASCO, 2021).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual da população que se desloca para área central	Variável que mapeia o deslocamento no território para a região com maior infraestrutura em saúde, população que tem maior risco na pandemia para se deslocar devido ao trabalho, educação e saúde (VASCONCELOS et al., 2022b).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Percentual da população sem plano de saúde	Variáveis que medem a falta de acesso à saúde, para a população mais vulnerável no enfrentamento dos casos de covid-19 (DEMENECH et al., 2020).	PDAD 2021 e PMAD 2019/2020
Infraestrutura em Saúde – Equipamentos para manutenção da vida por 10 mil habitantes. Número de atendimentos por 10 mil habitante	Variáveis que medem a capacidade de enfrentamento dos casos de covid-19 no que tange à sua capacidade física e de recursos humanos (NORONHA et al., 2020).	CNES 2021 e CNES 2023

Fonte: Elaborado a partir de (GUIMARÃES; ELEUTERIO; SILVA, 2020)

Os indicadores que explicam, direta ou indiretamente a mortalidade por covid-19, foram divididos em 3 dimensões: sociodemográficos, de saúde e de infraestrutura urbana.

- **Sociodemográfico:** renda per capita, densidade domiciliar, ambiente domiciliar, percentual que não é servidor público, percentual de população sem ensino superior, percentual de domicílios beneficiados com o Programa Bolsa Família, percentual da população com 60 anos ou mais e Percentual da população negra (negros e pardos);
- **Saúde:** Percentual da população que se desloca para área central, percentual da população sem plano de saúde e infraestrutura em saúde.
- **Infraestrutura urbana:** Percentual de áreas que não tem rua asfaltada, não tem rua iluminada, tem entulho e tem esgoto a céu aberto.

Dessa forma, a partir do modelo conceitual apresentado, os fatores que influenciam a saúde podem ser divididos em dois grupos principais: os determinantes estruturais da saúde, que englobam os indicadores sociodemográficos e de infraestrutura urbana, bem

como alguns indicadores de saúde; e os determinantes intermediários, que são representados pelos indicadores de infraestrutura em saúde.

Para a análise exploratória foi empregada a classificação de RAs por grupos de renda adotada no artigo de Vasconcelos et al. (2022a), com alterações de para incluir o grupo de renda 5 (nível mais baixo de renda), referente aos municípios goianos. Portanto, adota-se a seguinte classificação, que varia desde o grupo 1, de renda alta, até o grupo 5, de renda mais baixa:

- **Grupo 1:** Lago Sul, Jardim Botânico, Lago Norte, Plano Piloto, Sudoeste/Octogonal, Park Way;
- **Grupo 2:** Águas Claras, Cruzeiro, Guará, Núcleo Bandeirante, Arniqueira, Sobradinho, Vicente Pires, Candangolândia, Taguatinga, Riacho Fundo, Gama, Sobradinho II;
- **Grupo 3:** SIA, Samambaia, Ceilândia, Riacho Fundo II, Santa Maria, Brazlândia, Planaltina (DF), São Sebastião;
- **Grupo 4:** Paranoá, Recanto das Emas, Varjão, SCIA/Estrutural, Fercal, Sol Nascente/Pôr do Sol, Itapoã;
- **Grupo 5:** Alexânia, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Cristalina, Formosa, Luziânia, Novo Gama, Padre Bernardo, Planaltina (GO), Santo Antônio do Descoberto, Valparaíso de Goiás, Águas Lindas de Goiás.

#### 4.4 Análise estatística

Iniciou-se o estudo com uma análise exploratória dos dados coletados a fim de caracterizar o fenômeno da mortalidade e desigualdade na AMB. Para tanto, foram examinados dados agregados por unidades de estudo e grupos de renda, além de ser realizada uma análise de correlação para auxiliar na elaboração do modelo final. Adicionalmente, o Teste de Mardia foi aplicado para avaliar possíveis desvios de normalidade dos dados.

Para validar parcialmente o modelo conceitual proposto e verificar a consistência dos resultados obtidos na análise exploratória, foi realizada uma análise fatorial considerando o método de componentes principais com rotação oblíqua, precedida por testes de esfericidade de Bartlett e do critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), bem como uma análise paralela para determinar o número de fatores (ver seção 3.3).

A Modelagem de Equações Estruturais (MEE) foi utilizada para avaliar os efeitos diretos e indiretos conforme o modelo proposto, por meio de um conjunto de equações que descrevem estruturas hipotéticas de relacionamento. A sintaxe utilizada nas tabelas de resultados incluiu símbolos utilizados em pacotes especializados de MEE, implementados no software R:  $=\sim$  indica a relação entre uma variável latente e um indicador,  $\sim\sim$  representa variância ou covariância,  $\sim$  indica regressão e  $:=$  representa efeitos indiretos. Para os gráficos foram utilizados os símbolos e definições vistos na seção 3.2.2.

A estimação dos parâmetros foi conduzida por meio do método de máxima verossimilhança, com estimação robusta. Para avaliar a qualidade do ajuste, foram utilizadas medidas absolutas e índices de ajuste incremental, incluindo o  $\chi^2$ , o *Tucker-Lewis Index* (TLI), o *Comparative Fit Index* (CFI), o *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) e o *Standardized Root Mean Square Residual* (SRMR). Os critérios de corte empregados encontram-se no quadro 1, considerando as observações pertinentes ao tamanho da amostra para o índice RMSEA (ver seção 3.2).

Modificações foram realizadas caso o modelo não fosse adequado, removendo relações estatisticamente irrelevantes ou teoricamente redundantes, até que um bom ajuste fosse alcançado. O índice de modificação foi considerado com um valor de corte superior a 10. Além disso, os coeficientes totalmente padronizados foram classificados como pequenos, médios e grandes com base em seus valores entre 0,10 – 0,29, 0,30 – 0,49 e 0,50 ou maiores, respectivamente. O tamanho da amostra foi considerado como uma possível limitação para o ajuste com muitos parâmetros. (WEST STEPHEN G.; TAYLOR; WU, 2012; KLINE, 2011; MULAIK, 2009).

## 4.5 Implementação computacional

A manipulação e tratamento dos dados foram realizados no software estatístico R, na versão 4.2.2. Para a aplicação da Análise Fatorial Exploratória, foi utilizado o pacote *psych*, na versão 2.3.3. Já para a aplicação da Modelagem de Equações Estruturais (MEE), utilizou-se o pacote *lavaan*, na versão 0.6-15. Este pacote permite a estimativa de vários modelos, incluindo a modelagem de variáveis latentes com indicadores quantitativos e categóricos. Além disso, oferece opções para lidar com dados faltantes, como imputação múltipla, e é altamente flexível, permitindo a criação de funções personalizadas e modelos definidos pelo usuário (ROSSEEL, 2012).

## 5 Resultados

### 5.1 Visão geral dos indicadores de mortalidade, socioeconômicos, de saúde e de infraestrutura urbana na AMB.

A seguir, é apresentada uma síntese dos indicadores selecionados, acompanhada de uma análise da distribuição dos mesmos.

Tabela 2: Descritiva dos indicadores selecionados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), CadÚnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023).

Indicador	Média	DP <sup>(1)</sup>	Mediana	Min	Max	Q.1. <sup>(2)</sup>	Q.3. <sup>(3)</sup>	Assimetria	Curtose
Taxa de Mortalidade 30 a 49 anos	0,55	0,21	0,61	0,12	0,96	0,40	0,68	-0,37	-0,80
Taxa de Mortalidade 50 a 59 anos	0,72	0,24	0,80	0,16	1,31	0,56	0,87	-0,35	-0,06
Taxa de Mortalidade 60 a 69 anos	1,17	0,44	1,21	0,50	3,08	0,98	1,39	1,51	5,83
Renda per capita	2.348,76	2.442,06	1.263,21	575,40	10.870,43	808,92	2.538,60	1,75	2,28
Não é servidor público	84,61	11,72	86,60	52,90	98,50	79,95	94,85	-0,90	-0,07
Sem ensino superior completo	65,37	22,50	71,10	12,80	95,40	61,88	81,90	-0,95	-0,10
Bolsa Família (por dom.)	29,89	24,42	27,01	0,13	117,05	7,70	40,81	1,10	1,79
Qtd média pessoas/banheiros	2,37	0,80	2,39	0,80	3,72	1,78	2,98	-0,01	-0,98
Idosos	9,66	5,69	8,90	2,10	25,40	4,97	13,63	0,67	-0,39
Negros	63,62	15,88	64,55	32,70	94,50	55,67	74,35	-0,19	-0,72
Densidade (Dom/hab.)	0,27	0,07	0,28	0,12	0,42	0,24	0,31	-0,38	0,16
Não tem rua asfaltada	10,09	11,81	4,30	0,20	43,60	1,53	15,62	1,31	0,78
Não tem rua iluminada	10,60	14,18	5,30	0,30	70,50	1,95	10,32	2,19	5,36
Tem entulho	19,70	11,51	19,25	0,70	48,80	12,85	25,62	0,47	-0,23
Tem esgoto a céu aberto	9,59	11,21	6,75	0,80	53,80	3,25	9,35	2,31	5,10
Sem plano de saúde	72,29	26,24	83,35	8,80	98,00	63,65	92,35	-1,05	-0,26
Deslocamento para área central	21,48	25,70	9,25	2,10	98,00	6,50	23,83	1,77	1,98
Equipamentos	11,73	32,41	1,60	0,00	158,69	0,00	5,72	3,41	10,68
Número de atendimentos	1.975,57	2.779,86	916,70	0,00	13.307,92	0,00	2.434,89	2,01	4,45

(1) Desvio Padrão; (2) Primeiro quartil; (3) Terceiro quartil.

Na faixa etária de 30 a 49 anos, a taxa de mortalidade apresentou uma média de 0,55, com um desvio padrão de 0,21, sugerindo homogeneidade. Já nas faixas seguintes de 50 a 59 anos e 60 a 69 anos, as taxas foram de 0,72 e 1,17, respectivamente, indicando um aumento progressivo da mortalidade com o avanço da idade.

A renda per capita média foi de 2.348,76, com uma alta variação entre municípios e RAs (DP de 2.442,06). A mediana indicou que 50% das unidades têm renda per capita média abaixo de 1.263,21. Além disso, uma parcela elevada da população trabalha fora do serviço público e não possui ensino superior completo, com médias de 84,61 e 65,37, respectivamente, e uma variação relativamente baixa.

O benefício social Bolsa Família por domicílio apresentou uma distribuição heterogênea, com média de 29,89 e desvio padrão de 24,42. A média de pessoas por banheiro foi de 2,37, com distribuição relativamente uniforme entre os domicílios. A presença de idosos apresentou variação relativamente alta, com média de 9,66 e desvio padrão de 5,69, enquanto a média de pessoas negras foi de 63,62, com desvio padrão de 15,88.

Os indicadores relacionados à infraestrutura urbana, em contrapartida, registraram valores relativamente baixos. A média de domicílios sem rua asfaltada foi de 10,09%, enquanto a de domicílios sem rua iluminada foi de 10,60%. Além disso, observou-se um percentual de 19,70% de áreas com entulho e 9,59% de áreas com esgoto a céu aberto. Vale ressaltar que a presença de valores extremos pode ter influenciado a variação desses indicadores.

Em relação aos indicadores de saúde, todos apresentaram uma alta variação, com exceção do percentual de pessoas sem plano de saúde, que apresentou uma média de 72,29% e uma mediana de 83,35%, indicando uma alta proporção de pessoas sem acesso a planos de saúde.

Ao examinar a distribuição dos dados, foi observada uma assimetria negativa em muitos dos indicadores, sugerindo a presença de caudas mais longas à esquerda. Isso foi evidenciado em indicadores como taxa de mortalidade, renda per capita, não servidor público, sem ensino superior completo, Bolsa Família, quantidade média de pessoas por banheiro, idosos, negros, densidade e entulho. A curtose, por sua vez, apresentou valores próximos a zero na maioria dos indicadores, sugerindo uma distribuição próxima à normal. No entanto, alguns indicadores apresentaram curtose positiva, como equipamentos públicos e número de atendimentos, indicando uma distribuição mais concentrada em torno da média.

Tabela 3: Testes de Anderson-Darling de normalidade univariada para os indicadores selecionados.

Indicador	Estatística	p-valor	Normalidade
Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos	0,910	0,019	Não
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos	0,883	0,022	Não
Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos	1,171	0,004	Não
Renda per capita	4,703	< 0,001	Não
Não é servidor público	1,281	0,002	Não
Sem ensino superior completo	1,757	< 0,001	Não
Bolsa Família (por dom.)	0,835	0,028	Não
Qtd média pessoas/banheiros	0,393	0,360	Sim
Idosos	0,885	0,021	Não
Negros	0,303	0,558	Sim
Densidade (Dom/hab.)	0,882	0,022	Não
Não tem rua asfaltada	3,185	< 0,001	Não
Não tem rua iluminada	4,469	< 0,001	Não
Tem entulho	0,337	0,489	Sim
Tem esgoto a céu aberto	4,820	< 0,001	Não
Sem plano de saúde	2,944	< 0,001	Não
Deslocamento para área central	5,376	< 0,001	Não
Equipamentos	11,315	< 0,001	Não
Número de atendimentos	3,856	< 0,001	Não

Tabela 4: Testes de Mardia de normalidade multivariada para os indicadores selecionados.

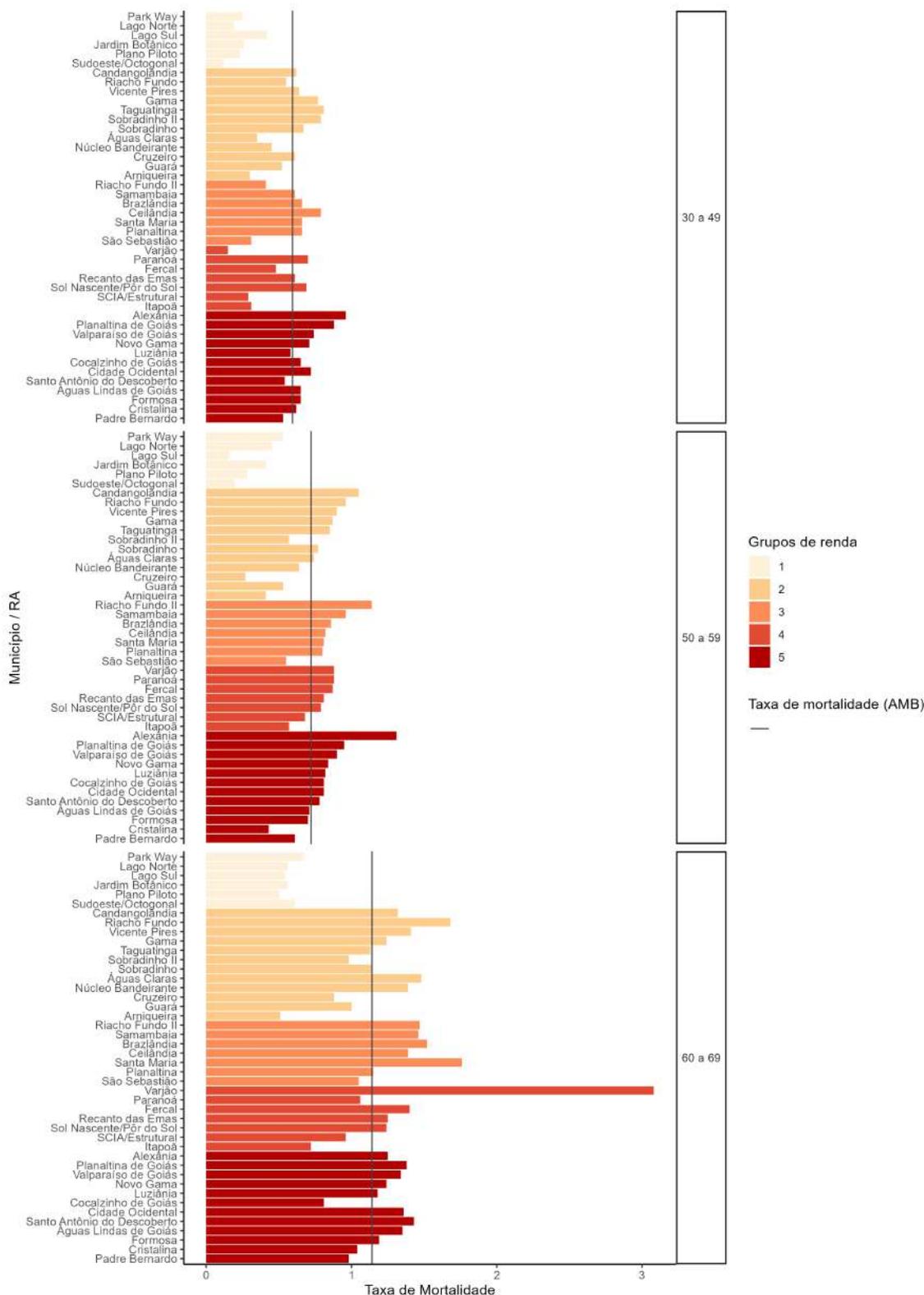
Teste	Normalidade
<i>Mardia's Skewness</i>	Não
<i>Mardia's Kurtosis</i>	Não

A suposição de normalidade multivariada não foi satisfeita, o que tem implicações para a adequação do modelo de equações estruturais, conforme abordado na seção 3.2.7.

### 5.1.1 Caracterização da desigualdade na AMB

Na sequência, é efetuada uma investigação acerca das disparidades entre os grupos de renda, levando em conta que a renda per capita média por município/RA foi avaliada como sendo elevada na seção 5.1. Busca-se verificar se a discriminação por grupos de renda acompanha a distribuição desigual de outros fatores.

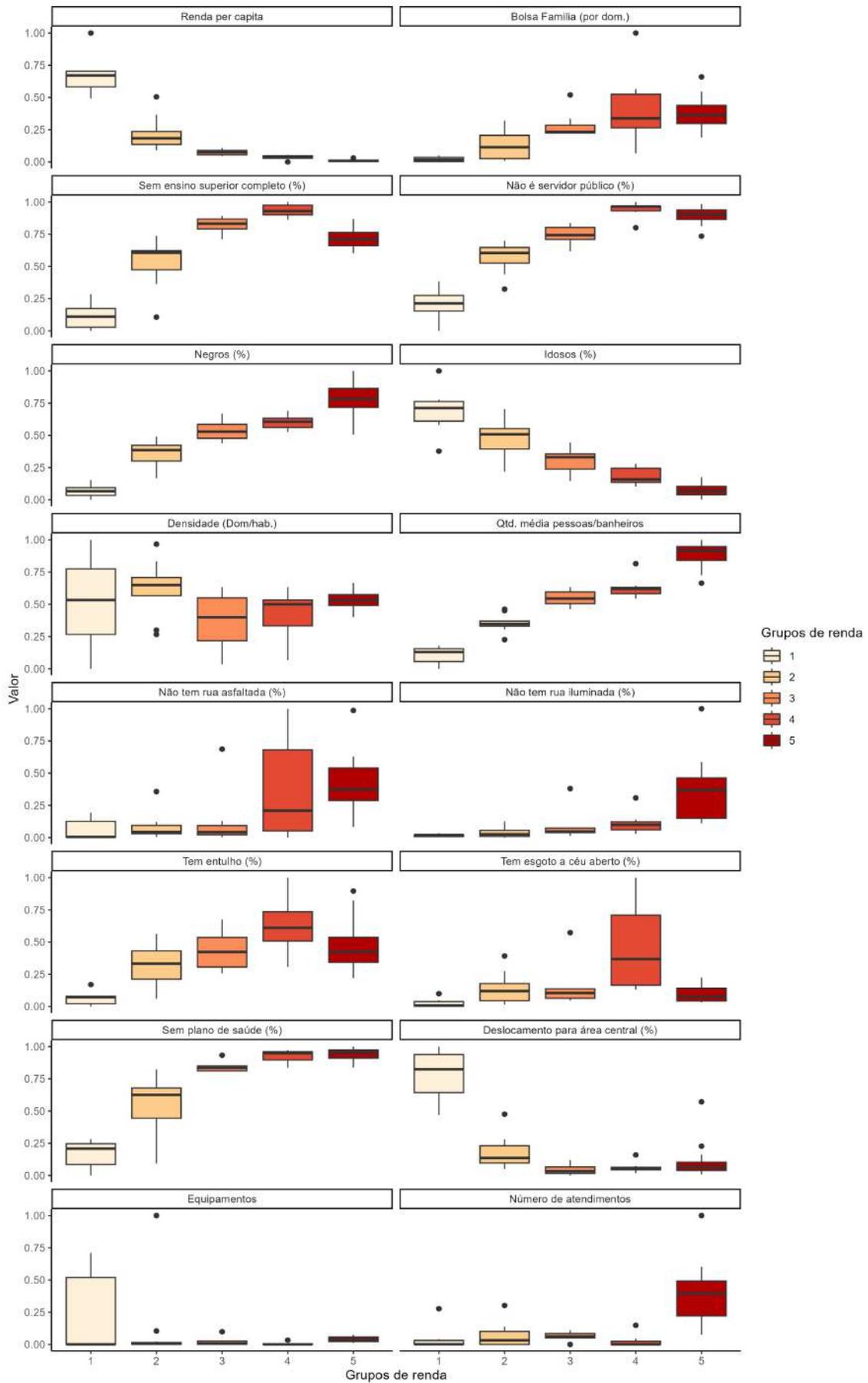
Figura 5: Taxa padronizada de mortalidade por mil habitantes, por grupos de idade, 30 a 49, 50 a 59 e 60 a 69, respectivamente. Dados agrupados por renda. SIM (2020-2021).



As taxas de mortalidade apresentaram similaridades entre os grupos de renda média alta, média baixa e baixa. Somente o grupo de alta renda registrou taxas inferiores

à média da AMB para todas as unidades de observação, nas 3 faixas etárias. Além disso, verificou-se uma tendência crescente na taxa de mortalidade à medida que a idade avança.

Figura 6: Média dos indicadores por grupos de renda. Valores normalizados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023).

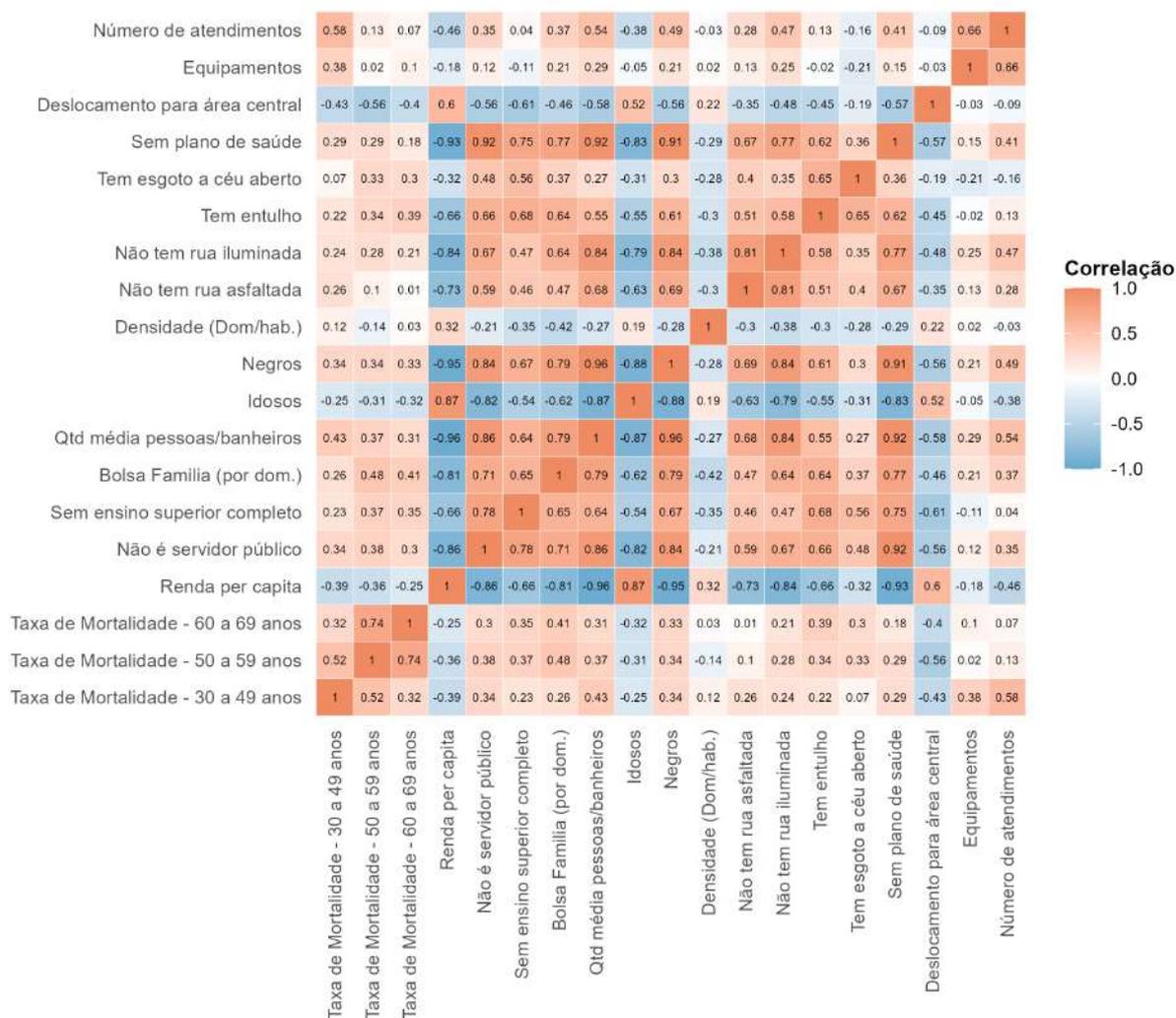


Os gráficos apresentados na figura 6 demonstraram uma clara disparidade entre os grupos de renda para diversos indicadores. Essa disparidade foi evidente nos indicadores que refletem fatores socioeconômicos e demográficos, como renda per capita, percentual de negros, percentual de idosos, percentual de famílias beneficiárias do Bolsa Família e percentual de pessoas sem ensino superior completo, dentre outros. Por outro lado, a relação de desigualdade para os indicadores de infraestrutura em saúde e infraestrutura urbana pareceu ser menos evidente, e em alguns casos até inexistente. No entanto, os indicadores de percentual de pessoas com plano de saúde e deslocamento para a área central revelaram uma desigualdade clara, sendo o deslocamento para a área central maior no grupo de alta renda.

### **5.1.2 Análise de correlação entre os indicadores**

Na seção 5.1.1, constatou-se uma relação entre os grupos de renda e os indicadores sociodemográficos e de saúde. Contudo, é necessário compreender de que forma essa associação se manifestou entre os indicadores desagregados.

Figura 7: Correlação de Spearman para os indicadores selecionados. PDAD (2021), PMAD (2019 e 2020), Cadúnico (2022 e 2023) e CNES (2021 e 2023).



Ao analisar as taxas de mortalidade, observou-se que a faixa etária de 30 a 49 anos apresentou correlação moderada positiva com as taxas de mortalidade nas faixas etárias de 50 a 59 anos e 60 a 69 anos. Ademais, a renda per capita apresentou correlação fraca a moderada negativa com as taxas de mortalidade, indicando que áreas com menor poder aquisitivo tendem a ter taxas de mortalidade mais elevadas. Foi constatada também correlação positiva fraca com variáveis como percentual de pessoas empregadas fora do setor público e percentual de pessoas sem ensino superior. As variáveis demográficas também apresentaram correlações moderadas, como a presença de idosos, que esteve negativamente correlacionada com as taxas de mortalidade, enquanto a presença de negros

apresentou correlação positiva, indicando possíveis disparidades raciais.

Ao analisar as correlações entre as condições de infraestrutura e saneamento, observou-se que a falta de ruas asfaltadas apresentou correlação positiva com a falta de iluminação nas ruas, a presença de entulho e a existência de esgoto a céu aberto. Além disso, a falta de iluminação nas ruas também esteve positivamente correlacionada com a presença de entulho.

No que diz respeito às correlações entre as variáveis relacionadas à saúde, constatou-se que a falta de plano de saúde esteve positivamente correlacionada com o deslocamento para áreas centrais e negativamente correlacionada com a disponibilidade de equipamentos e o número de atendimentos médicos.

Por fim, é relevante destacar que os indicadores das diversas dimensões propostas no marco conceitual apresentaram maior correlação entre si do que com as taxas de mortalidade, evidenciando a forte interconexão entre as condições socioeconômicas, de saúde e de infraestrutura urbana na região da AMB.

## 5.2 Análise fatorial exploratória

Os resultados da análise fatorial exploratória são apresentados a seguir.

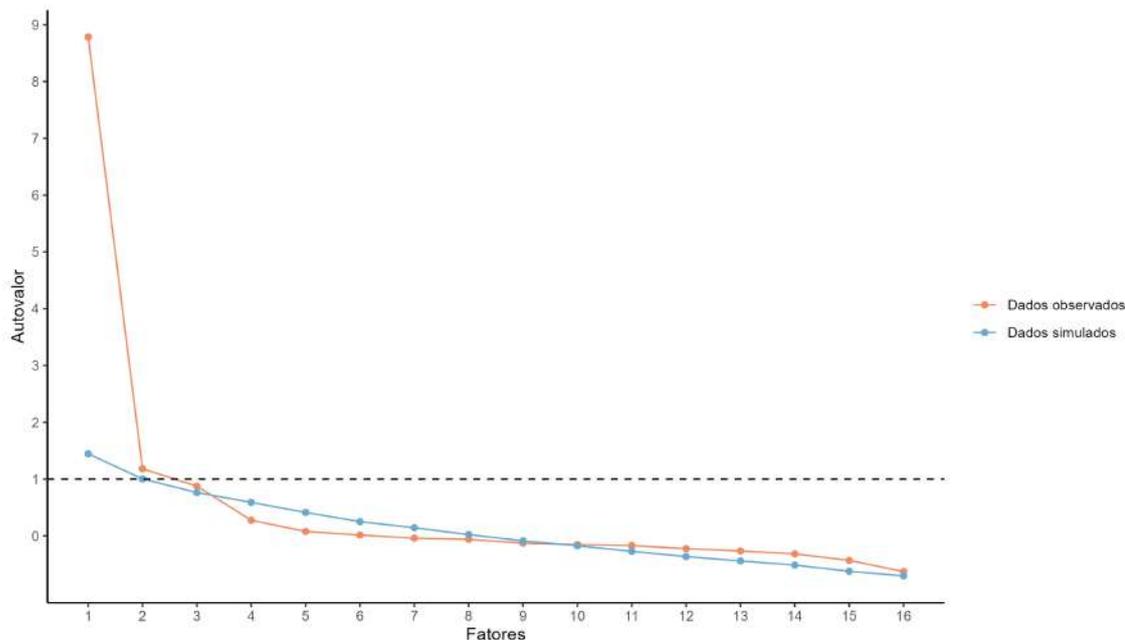
Tabela 5: Testes de validação para a análise fatorial com os indicadores selecionados.

	<b>Resultado</b>
Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	0,86
Teste de esfericidade de Bartlett	830,73
<b>g.l.</b> <sup>(1)</sup>	120
<b>Sig.</b> <sup>(2)</sup>	< 0,001

(1) Graus de liberdade; (2) Significância.

O teste KMO indicou que os dados eram adequados para a análise fatorial. Isso significa que as variáveis apresentavam uma quantidade significativa de variância comum que poderia ser explicada por fatores. Além disso, o teste de Bartlett indicou que a matriz de correlação era significativamente diferente de uma matriz de identidade. Em outras palavras, há evidências de uma correlação suficiente entre as variáveis para prosseguir com a análise fatorial.

Figura 8: Análise paralela. Determinação do número de fatores a ser retido.



Tanto a análise paralela quanto o critério de Kaiser sugeriram a retenção de 1 a 3 fatores, condizente com os resultados da análise de correlação realizada na seção 5.1.1. No entanto, uma vez que o objetivo é encontrar uma estrutura adequada para o modelo

de equações estruturais, foram examinados os resultados da análise fatorial considerando 2 e 3 fatores. Inicialmente, uma análise foi conduzida com todos os indicadores, e depois foram removidos aqueles que apresentavam cargas fatoriais baixas ou cargas cruzadas<sup>4</sup>, e aqueles que não possuíam uma explicação clara no fator.

A seguir, os resultados da análise fatorial após a remoção dos indicadores que apresentaram problemas. Demais resultados encontram-se em anexo, tabelas 11 e 12.

Tabela 6: Resultados da análise fatorial exploratória de 2 fatores, com a exclusão dos indicadores de problemáticos.

Indicador	Comunalidade	Especificidade	Fatores	
			Fator 1	Fator 2
Renda per capita	0,93	0,07	<b>-0,99</b>	0,05
Deslocamento para área central	0,75	0,25	<b>-0,94</b>	0,27
Sem plano de saúde	0,93	0,07	<b>0,94</b>	0,05
Negros	0,87	0,13	<b>0,89</b>	0,10
Não é servidor público	0,90	0,10	<b>0,89</b>	0,13
Idosos	0,77	0,23	<b>-0,86</b>	-0,05
Sem ensino superior completo	0,82	0,18	<b>0,84</b>	0,14
Qtd média pessoas/banheiros	0,81	0,19	<b>0,83</b>	0,13
Equipamentos	0,37	0,63	<b>-0,66</b>	0,29
Bolsa Familia (por dom.)	0,60	0,40	<b>0,52</b>	0,39
Não tem rua asfaltada	0,72	0,28	0,21	<b>0,74</b>
Tem esgoto a céu aberto	0,69	0,31	0,01	<b>0,83</b>
<b>Correlação entre os fatores</b>				
Fator 1			1,00	0,41
Fator 2			0,41	1,00
<b>Variância</b>			7,37	1,78
<b>% Variância</b>			0,61	0,15
<b>Variância acumulada</b>			0,61	0,76

Na análise com 2 fatores, observou-se que a maioria dos indicadores apresentava uma carga fatorial significativa no primeiro fator. No entanto, os indicadores de percentual de áreas com rua não iluminada e densidade domiciliar mostraram problemas de cargas fatoriais cruzadas. Para abordar essa questão, uma segunda análise foi realizada, excluindo esses indicadores.

<sup>4</sup>Itens com cargas elevadas em 2 ou mais fatores

Na análise subsequente, foi identificado o mesmo problema de cargas fatoriais cruzadas para o indicador de percentual de áreas com entulho. Consequentemente, esse indicador também foi removido da análise. Além disso, o indicador de número de atendimentos no serviço público foi excluído devido à falta de interpretação adequada no segundo fator.

Portanto, na terceira análise fatorial (ver tabela 6), conduzida excluindo os indicadores problemáticos, foi observado que o fator 1 acumulou 61% da variância, destacando-se como um fator de vulnerabilidade social, exercendo uma grande influência nos indicadores das dimensões socioeconômicas, demográficas e de saúde (todos apresentaram cargas elevadas). Além disso, o fator 2, relacionado à infraestrutura urbana, representou 15% da variação. Observou-se uma correlação moderada entre os 2 fatores.

Tabela 7: Resultados da análise fatorial exploratória de 3 fatores, com a exclusão dos indicadores problemáticos.

Indicador	Comunalidade	Especificidade	Fatores		
			Fator 1	Fator 2	Fator 3
Renda per capita	0,93	0,07	<b>-0,95</b>	-0,03	-0,02
Deslocamento para área central	0,81	0,19	<b>-0,93</b>	0,10	0,25
Sem plano de saúde	0,93	0,07	<b>0,89</b>	0,10	0,15
Não é servidor público	0,89	0,11	<b>0,88</b>	0,12	0,10
Sem ensino superior completo	0,89	0,11	<b>0,85</b>	0,27	-0,07
Idosos	0,79	0,21	<b>-0,83</b>	0,06	-0,23
Negros	0,95	0,05	<b>0,82</b>	-0,01	0,39
Equipamentos	0,56	0,44	<b>-0,73</b>	0,22	0,39
Não tem rua iluminada	0,83	0,17	0,31	0,00	<b>0,80</b>
Tem esgoto a céu aberto	0,73	0,27	0,25	<b>0,74</b>	-0,32
Densidade (Dom/hab.)	0,75	0,25	0,06	<b>-0,86</b>	-0,16
<hr/>					
<b>Correlação entre os fatores</b>					
Fator 1			1,00	0,26	0,19
Fator 2			0,26	1,00	0,09
Fator 3			0,19	0,09	1,00
<hr/>					
<b>Variância</b>			6,28	1,50	1,29
<b>Variância (%)</b>			0,57	0,14	0,12
<b>Variância acumulada</b>			0,57	0,71	0,83

Na análise com 3 fatores, observou-se que a maioria dos indicadores apresentava uma carga fatorial significativa no primeiro fator. No entanto, alguns indicadores, como quantidade média de pessoas por banheiros, percentual de áreas com entulho e percentual de áreas sem rua asfaltada, apresentaram problemas de cargas fatoriais cruzadas. Para lidar com essa questão, uma segunda análise foi conduzida excluindo esses indicadores.

Na análise subsequente, notou-se um problema de cargas fatoriais cruzadas para o indicador de percentual de áreas com entulho, que também foi removido. Além disso, o indicador de número de atendimentos no serviço público foi excluído devido à falta de interpretação adequada no segundo fator.

Portanto, na terceira análise fatorial (ver tabela 7), realizada sem esses indicadores problemáticos, observou-se um fator que acumulava 57% da variância, relacionado à vulnerabilidade social e associado a componentes socioeconômicos, demográficos e de saúde. No entanto, os outros dois fatores restantes não apresentaram uma interpretação adequada, uma vez que separaram dois componentes de infraestrutura urbana e combinaram um deles com um componente demográfico.

Deste modo, a análise fatorial com 2 fatores revelou uma maior consistência na formação dos itens. Além disso, os valores das comunalidades foram próximos de 1 para todos os indicadores, exceto para o percentual de beneficiários do Bolsa Família e número de equipamentos. Isso indica que uma grande proporção da variabilidade de cada variável é explicada pelos fatores. Essa análise também demonstrou um bom ajuste aos dados, como evidenciado pelos resultados dos testes (ver quadro 3).

### 5.3 Modelagem de equações estruturais

A partir dos resultados das análises exploratória e fatorial, e guiados pela teoria dos determinantes sociais da mortalidade, foram ajustados modelos com 1 e 2 fatores. O primeiro modelo considera somente o fator de vulnerabilidade social, enquanto o segundo considera tanto a vulnerabilidade social quanto a infraestrutura urbana. Os resultados dos índices de ajuste de todos os modelos encontram-se em anexo, seção 7, tabelas 13 e 14.

Tabela 8: Índice de ajuste dos modelos da análise de equações estruturais especificados.

Modelo	$df^*$	$\chi^2$	CFI	TLI	RMSEA	RMSEA IC 90%	SRMR
<b>(a) Vulnerabilidade social (<math>F_1</math>) = ~</b> Renda per capita ( $x_1$ ) + Não é servidor público ( $x_2$ ) + População Negra ( $x_3$ ) + Sem plano de saúde ( $x_4$ ) + Tem entulho ( $x_5$ )  <b>Mortalidade adulta (<math>F_2</math>) = ~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos ( $y_1$ ) + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos ( $y_2$ ) + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos ( $y_3$ )  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	19	28,351 ( $p = 0,077$ )	0,975	0,963	0,106	0,000; 0,185	0,067
-----							
<b>(b) Vulnerabilidade social (<math>F_1</math>) = ~</b> Não é servidor público ( $x_2$ ) + População Negra ( $x_3$ ) + Sem plano de saúde ( $x_4$ )  <b>Infraestrutura precária (<math>F_3</math>) = ~</b> Tem entulho ( $x_5$ ) + Não tem rua asfaltada ( $x_6$ )  <b>Mortalidade adulta (<math>F_2</math>) = ~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos ( $y_1$ ) + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos ( $y_2$ ) + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos ( $y_3$ )  <b>Vulnerabilidade social ~</b> <b>Infraestrutura precária</b>  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	18	29,202 ( $p = 0,046$ )	0,957	0,934	0,119	0,024; 0,192	0,074

Figura 9: Diagrama de caminho do modelo (a). Modelo com 1 fator exógeno (Vulnerabilidade social) e 1 fator endógeno (Mortalidade adulta).

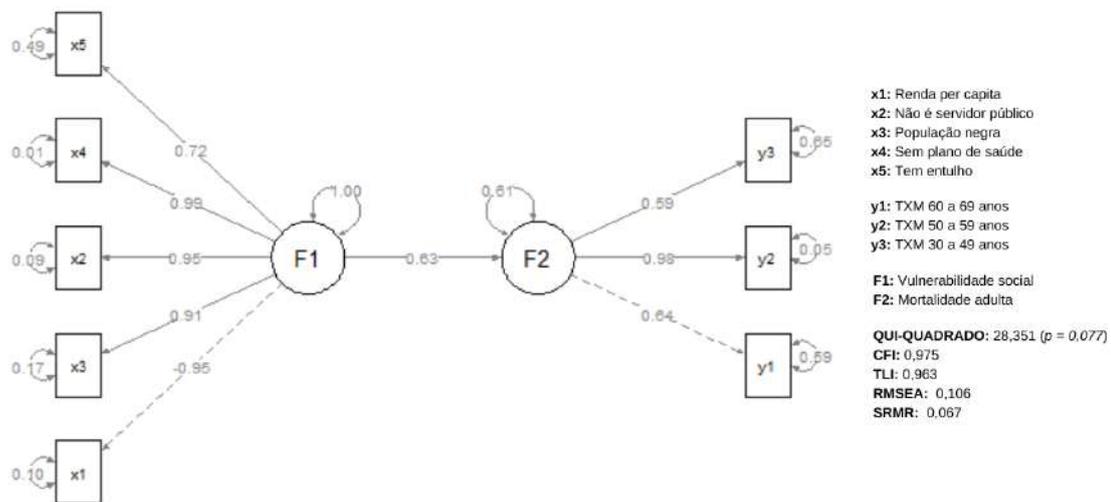
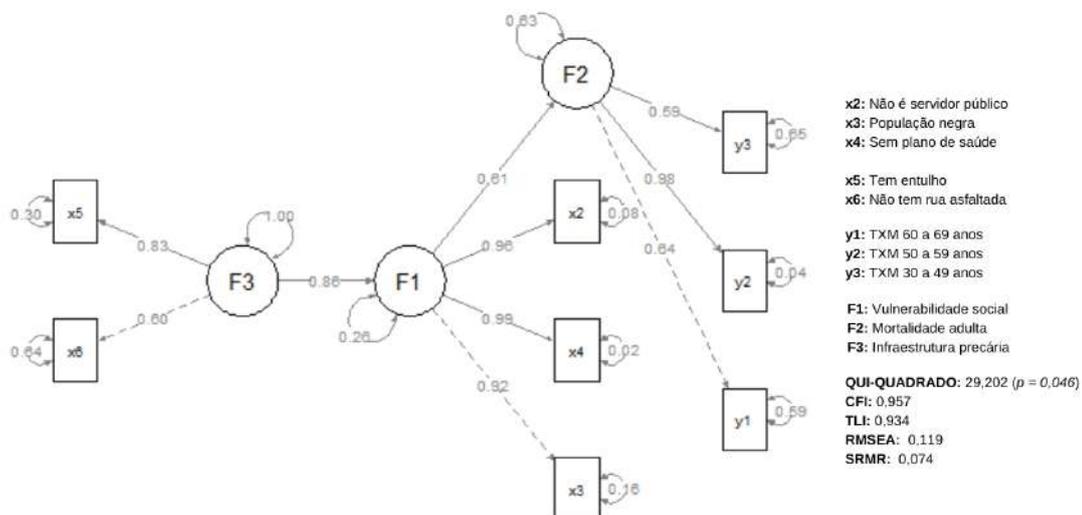


Figura 10: Diagrama de caminho do modelo (b). Modelo com 1 fator exógeno (Infraestrutura precária) e 2 fatores endógenos (Vulnerabilidade social e Mortalidade adulta).



Ao analisar os resultados da tabela 13, constatou-se que o ajuste dos dois primeiros modelos não foi satisfatório. No primeiro caso, todos os indicadores foram considerados para mensurar a dimensão de vulnerabilidade social, resultando em um ajuste deficiente. Os índices de CFI (0,646) e TLI (0,600) ficaram abaixo das expectativas para um modelo bem ajustado. Além disso, tanto o SRMR (0,117) quanto o RMSEA (0,223) apresentaram valores elevados.

No segundo modelo especificado, optou-se por eliminar um indicador de cada

dimensão e subdimensão relacionados às componentes socioeconômicas, demográficas, de saúde e de infraestrutura. Além disso, foram considerados subcomponentes de renda, trabalho e domicílio, que estão incorporados à componente socioeconômica. Embora o modelo tenha apresentado melhorias significativas nos índices de ajuste CFI (0,803) e TLI (0,755), assim como na estatística de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), as estimativas de RMSEA (0,225) e SRMR (0,093) tiveram uma melhoria modesta.

Por fim, no terceiro modelo especificado, o modelo **(a)** da tabela 8, teve um desempenho razoavelmente bom. A estatística de teste de ajuste  $\chi^2$  não foi rejeitada a um nível de significância de 5%. Além disso, os índices CFI e TLI revelaram valores elevados (0,975 e 0,963), indicando um ajuste satisfatório do modelo aos dados. Embora o RMSEA tenha sido de 0,106, é importante destacar que o intervalo de confiança de 90% inclui o valor zero como limite inferior (o RMSEA subestima o ajuste para amostras pequenas, como visto na seção 3.2.6). O SRMR do primeiro modelo foi de 0,067, sugerindo um ajuste bom em relação às covariâncias amostrais e estimadas.

No que diz respeito aos resultados da tabela 14, que considera um fator exógeno de infraestrutura precária e 2 fatores endógenos, vulnerabilidade social e mortalidade adulta, os resultados dos dois primeiros modelos considerados foram insatisfatórios. No primeiro caso, foram considerados os resultados da análise fatorial exploratória com 2 fatores para a construção da estrutura (tabela 6). Para o segundo modelo, retiraram-se as variáveis que apresentaram a menor carga fatorial de cada componente (renda, trabalho, demográfico, saúde e infraestrutura urbana). Por último, para o terceiro modelo, correspondente ao modelo **(b)** da tabela 8, retirou-se a renda per capita devido à alta correlação com os demais fatores (redundância) e incorporou-se o indicador de presença de entulho em vez de presença de esgoto a céu aberto, pois apresentou um bom resultado no modelo **(a)**.

O modelo **(b)** demonstrou resultados favoráveis, embora a avaliação do ajuste com base na estatística de  $\chi^2$  ( $p = 0,046$ ) tenha sido inconclusiva. Os índices CFI e TLI revelaram valores elevados (0,957 e 0,934), indicando um ajuste satisfatório, enquanto o SMRM (0,074) foi relativamente baixo. No entanto, o RMSEA ficou em torno de 0,119. Por fim, é importante exercer cautela ao interpretar o modelo, considerando a alta correlação entre os fatores de vulnerabilidade social e infraestrutura precária (0,860).

A seguir, são apresentados as estimativas para os modelos **(a)** e **(b)**. Para a interpretação das estimativas considerou-se a solução completamente padronizada.

Tabela 9: Resultados da análise de equações estruturais para o modelo (a).

	Estimativa	Estimativa padronizada	Erro Padrão	p-valor	IC 95% Inferior	IC 95% Superior
<b>Regressão estrutural</b>						
Mortalidade adulta ~ Vulnerabilidade social	0,423	0,625	0,117	< 0,001	0,397	0,854
<b>Modelo de mensuração</b>						
Vulnerabilidade social =~ Sem plano de saúde	1,044	0,993	0,008	< 0,001	0,978	1,008
Vulnerabilidade social =~ Não é servidor público	1,004	0,955	0,014	< 0,001	0,928	0,982
Vulnerabilidade social =~ Renda per capita	-1,000	-0,951	0,011	< 0,001	-0,973	-0,929
Vulnerabilidade social =~ População negra	0,960	0,913	0,022	< 0,001	0,871	0,956
Vulnerabilidade social =~ Tem entulho	0,753	0,717	0,063	< 0,001	0,594	0,839
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	1,515	0,975	0,101	< 0,001	0,777	1,174
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	1,000	0,644	0,153	< 0,001	0,344	0,944
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,917	0,590	0,155	< 0,001	0,286	0,894
<b>Erro de mensuração</b>						
Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,637	0,652	0,183	< 0,001	0,293	1,010
Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	0,572	0,586	0,197	< 0,003	0,199	0,972
Tem entulho	0,476	0,487	0,090	< 0,001	0,310	0,663
População negra	0,162	0,166	0,040	< 0,001	0,088	0,244
Renda per capita	0,093	0,096	0,021	< 0,001	0,054	0,137
Não é servidor público	0,086	0,088	0,026	< 0,001	0,037	0,140
Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	0,047	0,049	0,197	0,806	-0,338	0,435
Sem plano de saúde	0,014	0,015	0,015	0,334	-0,015	0,044
<b>Variância</b>						
Vulnerabilidade social	0,884	1,000	0,000	-	1,000	1,000
<b>Distúrbio</b>						
Mortalidade adulta	0,247	0,609	0,146	< 0,001	0,323	0,895
<b>R<sup>2</sup></b>						
Sem plano de saúde	0,985	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	0,951	-	-	-	-	-
Não é servidor público	0,912	-	-	-	-	-
Renda per capita	0,904	-	-	-	-	-
População negra	0,834	-	-	-	-	-
Tem entulho	0,513	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	0,414	-	-	-	-	-
Mortalidade adulta	0,391	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,348	-	-	-	-	-

Na análise de regressão estrutural (a), foi constatado um impacto elevado e positivo da vulnerabilidade social sobre a taxa de mortalidade adulta. Em outras palavras, um aumento de um desvio-padrão na vulnerabilidade social resultará em um incremento de 0,625 desvios-padrão na mortalidade adulta. No entanto, o erro padrão foi relativamente elevado e os intervalos de confiança pouco precisos (0,397 e 0,854), o que pode dificultar a interpretação dos resultados.

No modelo de mensuração, os resultados revelam que a falta de plano de saúde, o emprego fora do serviço público, a baixa renda per capita, a alta proporção da população negra e a presença de entulho estão positivamente relacionados com a vulnerabilidade so-

cial. Por exemplo, a estimativa da carga fatorial para a variável de falta de plano de saúde é de 0,993, o que indica que um aumento de um desvio-padrão no fator de vulnerabilidade social está associado a um aumento de 0,993 unidades padronizadas da variável sem plano de saúde. Nesse sentido, como todos os indicadores possuem carga em apenas um fator, os resultados da solução completamente padronizada podem ser interpretados também como correlações entre os fatores e os indicadores. Assim, todos apresentam uma alta correlação com a vulnerabilidade social. Além disso, todos os indicadores apresentaram significância estatística a um nível de 5% e erros-padrão relativamente baixos.

Em relação ao coeficiente  $R^2$ , observou-se que a vulnerabilidade social explica uma alta proporção da variância em todos os indicadores, exceto no indicador relacionado à presença de entulho (0,513). Por outro lado, as taxas de mortalidade nas faixas etárias de 30 a 49 anos e 50 a 59 anos apresentaram a menor proporção de variância explicada pelo fator de mortalidade adulta, indicando um alto erro de mensuração. Além disso, o distúrbio ou erro associado à taxa de mortalidade adulta exibiu valores elevados (0,609).

Tabela 10: Resultados da análise de equações estruturais para o modelo (b).

	Estimativa	Estimativa padronizada	Erro Padrão	p-valor	IC 95% Inferior	IC 95% Superior
<b>Regressão estrutural</b>						
Vulnerabilidade social ~ Infraestrutura precária	1,317	0,860	0,080	< 0,001	0,703	1,016
Mortalidade adulta ~ Vulnerabilidade social	0,426	0,608	0,121	< 0,001	0,372	0,844
<b>Efeito indireto</b>						
Infraestrutura precária := Vulnerabilidade social	0,561	0,523	0,231	0,015	0,289	0,756
<b>Modelo de mensuração</b>						
Vulnerabilidade social =~ Sem plano de saúde	1,082	0,991	0,011	< 0,001	0,970	1,012
Vulnerabilidade social =~ Não é servidor público	1,045	0,957	0,016	< 0,001	0,925	0,989
Vulnerabilidade social =~ População negra	1,000	0,916	0,024	< 0,001	0,869	0,962
Infraestrutura precária =~ Tem entulho	1,395	0,834	0,089	< 0,001	0,660	1,008
Infraestrutura precária =~ Não tem rua asfaltada	1,000	0,598	0,074	< 0,001	0,453	0,743
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	1,529	0,981	0,106	< 0,001	0,773	1,189
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	1,000	0,642	0,156	< 0,001	0,336	0,947
Mortalidade adulta =~ Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,916	0,587	0,156	< 0,001	0,281	0,894
<b>Erro de mensuração</b>						
Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,640	0,655	0,183	< 0,001	0,295	1,015
Não tem rua asfaltada	0,628	0,643	0,088	< 0,001	0,469	0,816
Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	0,575	0,588	0,200	0,003	0,196	0,980
Tem entulho	0,297	0,304	0,148	0,040	0,014	0,594
População negra	0,158	0,162	0,043	< 0,001	0,077	0,246
Não é servidor público	0,082	0,084	0,031	0,007	0,023	0,146
Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	0,037	0,038	0,208	0,855	-0,370	0,446
Sem plano de saúde	0,017	0,018	0,021	0,409	-0,024	0,060
<b>Variância</b>						
Infraestrutura precária	0,349	1,000	0,000	-	1,000	1,000
<b>Distúrbio</b>						
Mortalidade adulta	0,254	0,630	0,147	< 0,001	0,343	0,918
Vulnerabilidade social	0,214	0,261	0,137	0,058	-0,009	0,530
<b>R<sup>2</sup></b>						
Sem plano de saúde	0,982	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (50 a 59 anos)	0,962	-	-	-	-	-
Não é servidor público	0,916	-	-	-	-	-
População negra	0,838	-	-	-	-	-
Vulnerabilidade social	0,739	-	-	-	-	-
Tem entulho	0,696	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (60 a 69 anos)	0,412	-	-	-	-	-
Mortalidade adulta	0,370	-	-	-	-	-
Não tem rua asfaltada	0,357	-	-	-	-	-
Taxa de Mortalidade (30 a 49 anos)	0,345	-	-	-	-	-

A análise de regressão estrutural do modelo (b) revelou que os 2 coeficientes são significativos a um nível de 5%. A precariedade da infraestrutura teve um impacto elevado e positivo na vulnerabilidade social. Em outras palavras, um aumento de um desvio-padrão na precariedade da infraestrutura resultará em um aumento de 0,860 desvios-padrão na vulnerabilidade social. Além disso, também foi observada uma relação positiva entre a vulnerabilidade social e a taxa de mortalidade adulta, bem como entre a preca-

riedade da infraestrutura e a mortalidade adulta (como efeito indireto), embora com um erro padrão relativamente alto em ambos os casos.

No modelo de mensuração, todos os indicadores foram estatisticamente significativos para os três fatores considerados (a um nível de 5%). Novamente, as estimativas das cargas fatorais foram elevadas, todos apresentando uma correlação positiva com os fatores (estimativa padronizada). No entanto, os indicadores relacionados à mortalidade apresentaram erros-padrão consideráveis, seguindo a mesma tendência observada nos resultados do modelo **(a)**. Além disso, foram encontrados erros de mensuração relativamente altos para as taxas de mortalidade entre 30 e 49 anos (0,655) e entre 50 e 59 anos (0,588), assim como para o indicador de falta de ruas asfaltadas (0,653). Como resultado, a proporção de variância explicada pelos fatores associados a esses indicadores foi baixa, com valores de 0,345, 0,370 e 0,357, respectivamente. Por outro lado, os demais indicadores apresentaram altos valores de coeficiente  $\mathbf{R}^2$  e, portanto, baixos erros de mensuração. Além disso, o distúrbio associado ao fator de vulnerabilidade social foi relativamente baixo.

Os resultados dos índices de modificação para os modelos **(a)** e **(b)** estão disponíveis no anexo, tabelas 15 e 16. Ambos foram considerados irrelevantes do ponto de vista teórico e, portanto, não foram incluídos em uma possível reformulação dos modelos.

O modelo **(a)** obteve melhores resultados, considerando os critérios de ajuste.

## 6 Contextualização dos resultados à luz dos DSS

Observa-se uma forte correlação entre indicadores provenientes de diferentes dimensões (ver tabela 5.1), evidenciando uma estreita interdependência entre as diversas componentes. Portanto, constata-se que a renda per capita média baixa está associada a outras vulnerabilidades sociais, tais como uma alta proporção de negros na população, dependência acentuada dos serviços de saúde fornecidos no DF, infraestrutura urbana precária, tipo de emprego e níveis de escolaridade. Neste sentido, vale destacar que os indicadores apresentam, na maior parte dos casos, uma correlação acentuada entre eles, mas não com as taxas de mortalidade de covid-19 por grupos de idade, que compõem a variável resposta do estudo.

Os resultados obtidos na seção 5.2, tanto na aplicação da técnica com 2 fatores quanto com 3 fatores, corroboram de forma consistente a tendência observada, indicando que um fator subjacente é capaz de explicar uma parcela considerável da variação observada. Esse fator engloba indicadores socioeconômicos relacionados ao trabalho, renda, educação e estrutura demográfica, bem como indicadores de saúde. Um aspecto particularmente relevante que se destaca é o deslocamento para a área central, o qual reflete o movimento da população em direção às regiões que concentram os serviços de saúde de melhor qualidade. Surpreendentemente, esse deslocamento se revela tão crucial quanto a renda per capita e a posse de plano de saúde. Nesse sentido, ele consegue agregar diversas dimensões na dinâmica centro-periferia. Vale ressaltar que a carga fatorial altamente negativa sugere que, se o fator captura as vulnerabilidades sociais, os resultados apontam para uma dependência importante dos serviços de saúde do DF. Essa dependência geográfica sugere que os municípios ou regiões administrativas que estão mais próximos desses centros de saúde também abrigam uma população com renda per capita elevada, acesso a planos de saúde, predominantemente branca e idosa, além de ocupação majoritariamente formal no setor público.

A separação da dimensão de infraestrutura precária, evidente no modelo final de 2 fatores (ver tabela 6), juntamente com as interações identificadas nos modelos descritos nas tabelas 11 e 12, sugere a existência da componente que reflete a infraestrutura precária nos municípios e regiões administrativas. No entanto, deve-se notar que essa representação se mostra insuficiente quando todos os indicadores de poluição e infraestrutura são considerados simultaneamente. Esse aspecto é importante na seção 5.3, onde se estabelece a dependência entre o fator de vulnerabilidade social e esse componente específico relacionado à infraestrutura precária. No modelo **(b)**, é possível observar que

o coeficiente da regressão estrutural entre infraestrutura precária e vulnerabilidade social é positivo, corroborando a expectativa teórica, porém apresenta uma magnitude ainda mais expressiva do que a relação entre vulnerabilidade social e taxa de mortalidade. Este resultado não é apenas estatisticamente significativo, mas também mais preciso, como indicado pelo erro observado.

Em relação aos indicadores da dimensão de vulnerabilidade social, os resultados indicam uma preponderância do plano de saúde nesta dimensão. Note que, o plano de saúde pode desempenhar um papel crucial nos determinantes sociais da mortalidade por diversas razões. Em primeiro lugar, ter acesso a um plano de saúde adequado e abrangente é fundamental para garantir o acesso a serviços de saúde de qualidade, especialmente quando o serviço de saúde público é precário e superlotado. Isso inclui consultas médicas, exames diagnósticos e internações hospitalares, entre outros serviços essenciais. Outros indicadores de infraestrutura em saúde e cobertura foram descartados por motivos detalhados na seção 5.3, no entanto, note que a inclusão do plano de saúde, consegue captar indiretamente estes outros indicadores, já que como foi visto, existe uma alta correlação entre os mesmos.

Depois do plano de saúde, os indicadores com maiores cargas fatoriais dizem respeito à dimensão sociodemográfica. O indicador de renda, é o mais intuitivo e bem documentado em relação aos determinantes da mortalidade, além disso tem uma variação considerável (ver tabela 2). No entanto vale o destaque dos indicadores de população negra e emprego no serviço público que foram fatores de riscos importantes na pandemia. Particularmente, na AMB trabalhadores inseridos no serviço público tendem a ter maior segurança financeira, o que lhes permite adquirir recursos essenciais, assim como acesso a medidas de prevenção e proteção no local de trabalho, distanciamento social, fornecimento de equipamentos de proteção individual e protocolos de higiene. Essas medidas contribuem para reduzir o risco de exposição e transmissão do vírus, protegendo a saúde dos trabalhadores e da comunidade em geral. Neste sentido, pela análise gráfica (ver figura 6), é possível notar com clareza que os Municípios/RAs que encontram-se no grupo de renda 1, isto é, áreas de maior concentração de recursos econômicos, tem uma baixa porcentagem de pessoas fora do serviço público, ao mesmo tempo que é área que concentra a maior quantidade de pessoas com plano de saúde e uma baixa proporção de negros.

Por fim, o modelo adotado para o estudo, descrito detalhadamente na seção 3.1.2, parece ser apropriado. Contudo, no contexto da AMB, as três dimensões dos determinantes estruturais - econômica e sociodemográfica, ambiental e fiscal - assim como

as duas dimensões dos determinantes intermediários - assistência e produção de serviços de saúde e infraestrutura de serviços de saúde - estão intrinsecamente entrelaçadas. Esta interdependência, confirmada por meio das análises exploratória, fatorial e de equações estruturais, parece sugerir um panorama de elevada desigualdade social, ao mesmo tempo que dificulta a identificação de fatores mitigadores.

## 7 Conclusão

O estudo sobre mortalidade adulta por covid-19, considerando os determinantes sociais da mortalidade, revela resultados importantes para a especificação de modelos teóricos que sejam aplicáveis à realidade da Área Metropolitana de Brasília (AMB). Os resultados obtidos corroboram em parte a teoria proposta, porém indicam um cenário mais grave do que o esperado. Isso sugere que os indicadores socioeconômicos, demográficos, de saúde e de infraestrutura urbana na AMB estão intrinsecamente interligados, dificultando uma análise precisa dos fatores que poderiam atenuar essas desigualdades. Uma análise exploratória já permite visualizar claramente essa situação de profunda desigualdade, com um viés geográfico pronunciado.

No modelo de mensuração, os indicadores relacionados à vulnerabilidade social apresentam consistentemente resultados significativos, destacando sua relevância na medição e compreensão desse fenômeno complexo. Por outro lado, alguns indicadores de mortalidade e infraestrutura apresentam erros de mensuração consideráveis, indicando a necessidade de aprimorar a forma como esses fatores são medidos e avaliados. Além disso, observa-se que a infraestrutura precária exerceu um impacto considerável e positivo sobre a vulnerabilidade social. Essa relação evidencia que a qualidade deficiente e a falta de disponibilidade de serviços básicos, como saneamento e infraestrutura urbana, contribuem significativamente para o aumento da vulnerabilidade das comunidades.

No entanto, diversas dificuldades devem ser observadas. Um desafio significativo encontrado durante o processo de extração e tratamento dos dados, conforme mencionado na seção 4.2, foi a limitação dos indicadores de saúde, equipamentos e número de atendimentos disponíveis apenas para o mês de abril de 2023 no Distrito Federal, sendo impossível obter informações correspondentes aos períodos de 2020 e 2021. Além disso, é importante ter cautela ao analisar os dados de mortalidade devido à possibilidade de subnotificação de causas mal definidas.

Por outro lado, a amostra pequena também pode gerar problemas na interpretabilidade dos modelos. Assim, quando os pressupostos de normalidade multivariada não são atendidos, isso pode gerar desafios na modelagem de equações estruturais, já que podem introduzir viés nas estimativas dos parâmetros, distorcer as avaliações do ajuste do modelo e violar as suposições subjacentes. Além dos métodos robustos adotados no estudo, pode-se considerar o uso de técnicas de bootstrap ou usar métodos de estimação Bayesiana.

Diversos modelos testados se revelam problemáticos e não justificáveis. Em certos casos, o ajuste dos fatores socioeconômicos, de saúde e de infraestrutura urbana separadamente na análise confirmatória pode parecer adequado, mas a alta correlação entre esses fatores inviabiliza as análises de regressão estrutural, levando a soluções inadequadas com coeficientes de sinal invertido (casos *Heywood*). Portanto, a presença de multicolinearidade dificulta a distinção das contribuições individuais das variáveis em relação aos fatores subjacentes, tornando a interpretação das cargas fatoriais mais complexa e ambígua. Além disso, a multicolinearidade em análises fatoriais confirmatórias e equações estruturais pode resultar em estimativas de parâmetros instáveis, erros-padrão inflacionados e dificuldades na avaliação precisa das relações entre as variáveis observadas e os fatores latentes.

As limitações identificadas apontam para a necessidade de explorar abordagens alternativas, coletar novos dados e avaliar sua relevância. É fundamental destacar que o instrumento de mensuração foi desenvolvido posteriormente, utilizando dados observacionais, ou seja, a coleta de dados não foi realizada com o objetivo específico de conduzir uma análise fatorial confirmatória baseada no modelo teórico proposto. Além disso, os dados foram obtidos de fontes diferentes, cada uma com objetivos específicos.

Em suma, os resultados da análise destacam a importância de abordar as desigualdades sociais, econômicas e ambientais como forma de reduzir a vulnerabilidade social e suas consequências, como a mortalidade por covid-19. Políticas e intervenções que visam melhorar o acesso aos serviços de saúde, promover a inclusão socioeconômica, reduzir as disparidades raciais e aprimorar as condições ambientais podem ser estratégias eficazes para promover a equidade e reduzir a vulnerabilidade social. É essencial considerar o contexto específico do estudo e as metodologias empregadas para uma interpretação cuidadosa dos resultados e para compreender seu potencial como ferramenta de pesquisa.

O projeto de pesquisa será continuado visando à publicação de um artigo científico, pois os resultados obtidos são valiosos para sugerir outras direções de estudo. Nesse sentido, uma revisão do marco teórico se faz necessária.

## Referências

- ABRAMS, E. M.; SZEFLER, S. J. Covid-19 and the impact of social determinants of health. *The Lancet Respiratory Medicine*, v. 8, n. 7, p. 659–661, jul. 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30234-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30234-4). Acesso em: 17 dez. 2022.
- ABRASCO, Associação Brasileira de Saúde Coletiva. *População Negra e Covid-19*. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: [https://www.abrasco.org.br/site/wp-content/uploads/2021/10/E-book\\_saude\\_pop\\_negra\\_covid\\_19\\_VF.pdf](https://www.abrasco.org.br/site/wp-content/uploads/2021/10/E-book_saude_pop_negra_covid_19_VF.pdf). Acesso em: 10 jan. 2023.
- Academia das Ciências de Lisboa. *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*. Lisboa, 2022. Disponível em: <https://www.volp-acl.pt/index.php/item/covid-19>. Acesso em: 23 dez. 2022.
- BANDALOS, D. L.; GAGNE, P. Simulation methods in structural equation modeling. In: HOYLE, R. H. (Ed.). *Handbook of structural equation modeling*. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 6, p. 92–108.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Orientações para codificação das causas de morte no contexto da COVID-19**. Brasília, DF, maio 2020.
- BROWN, T. A.; MOOR, M. T. Confirmatory factor analysis. In: HOYLE, R. H. (Ed.). *Handbook of structural equation modeling*. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 22, p. 361–369.
- BUSS, P. M.; FILHO, A. P. A saúde e seus determinantes sociais. *Physis: Revista de Saúde*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 77–93, 2007. ISSN 0103-7331. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/physis/a/msNmfGf74RqZsbpKYXxNKhM/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- CARVALHO, L.; PIRES, L. N.; XAVIER, L. de L. Covid-19 e desigualdade no brasil. 04 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340452851\\_COVID-19\\_e\\_Desigualdade\\_no\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/340452851_COVID-19_e_Desigualdade_no_Brasil). Acesso em: 10 jan. 2023.
- CASTANHEIRA, D.; MAIA, L.; ROMERO, D. Desigualdades. visões do brasil e do mundo. In: EDITORA, H. (Ed.). *Desigualdades. Visões do Brasil e do mundo*. [S.l.]: HUCITEC EDITORA, 2022. cap. 13, p. 215–234.
- CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. *Delimitação do Espaço Metropolitano de Brasília (Área Metropolitana de Brasília)*. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Delimitao-do-Espao-Metropolitano-de-Brasilia-AMB.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.
- CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. *Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios - PMAD 2019/2020*. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/PMAD-Resultados-para-a-Periferia-Metropolitana-de-Brasilia-PMB-2019-2020.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.

CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **PDAD 2021 - Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: [https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/PDAD-DF\\_2021.pdf](https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/PDAD-DF_2021.pdf). Acesso em: 17 dez. 2022.

CONFORTIN, S. C. et al. Mortalidade prematura pelas principais doenças crônicas não transmissíveis nos estados do Brasil. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 72, p. 1588–1594, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reben/a/pC5JqRkdg6ZQ9xHjGzQkhSf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 23 dez. 2022.

DEMENECH, L. M. et al. Desigualdade econômica e risco de infecção e morte por covid-19 no Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 23, 2020.

DERSO, E. A.; CAMPOLO, M. G.; ALIBRANDI, A. The causes and factors associated with infant mortality rate in Ethiopia: The application of structural equation modelling. **Children**, v. 10, n. 2, fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9067/10/2/397>.

FILHO, A. P. Public policy and the social determinants of health: the challenge of the production and use of scientific evidence. **Cadernos de saúde pública**, Rio de Janeiro, RIO DE JANEIRO, v. 27, n. suppl 2, p. S135–S140, 2011. ISSN 0102-311X. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Hk7LBgXZfMCQTtqVsJP9jFQ/?lang=en>. Acesso em: 19 dez. 2022.

FIOCRUZ, P. Desigualdade social e econômica em tempos de covid-19. **Portal Fiocruz**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/desigualdade-social-e-economica-em-tempos-de-covid-19>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GUIMARÃES, R. M.; ELEUTERIO, T. d. A.; SILVA, J. H. C. Monteiro-da. Estratificação de risco para predição de disseminação e gravidade da covid-19 no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 37, p. 1–17, 2020.

HORTON, R. Offline: Covid-19 is not a pandemic. **The Lancet**, v. 396, n. 10255, p. 874, set. 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32000-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32000-6). Acesso em: 16 dez. 2022.

HOYLE, R. H. Model specification in structural modeling equation. In: HOYLE, R. H. (Ed.). **Handbook of structural equation modeling**. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 8, p. 126–144.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6. ed. Nova Jersey: Pearson Education, Inc., 2007.

JÚNIOR, M. D. S. Vulnerabilidades da população idosa durante a pandemia pelo novo coronavírus. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 23, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgg/a/jpMqfmC6tvsz3MjHLY8D5kw/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

KENNY, D. A.; MILAN, S. **Identification**: A nontechnical discussion of a technical issue. In: HOYLE, R. H. (Ed.). **Handbook of structural equation modeling**. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 9, p. 145–163.

- KLIN, R. B. *Principles and practice of structural equation modeling*. 4. ed. Nova Iorque: Guilford publications, 2011.
- LEI, P.; WU, Q. Estimation in structural equation modeling. In: HOYLE, R. H. (Ed.). *Handbook of structural equation modeling*. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 10, p. 164–180.
- LIN, J. *Introduction to structural equation modeling (SEM) in R with Lavaan*. 2021. Disponível em: <https://stats.oarc.ucla.edu/r/seminars/rsem/>. Acesso em: 21 jan. 2023.
- MARDIA, K. V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, Grã-Bretanha, v. 57, n. 3, p. 519–530, 1970. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2334770>. Acesso em: 22 dez. 2022.
- MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. *Análise fatorial*. Enap Fundação Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/4790>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- MCGOWAN, V. J.; BAMBRA, C. Covid-19 mortality and deprivation: pandemic, syndemic, and endemic health inequalities. *The Lancet Public Health*, v. 7, n. 11, p. e966–e975, nov. 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00223-7](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00223-7). Acesso em: 19 dez. 2022.
- MELO, F. C. C. d.; COSTA, R. F. R. d.; CORSO, J. M. D. Modelo conceitual aplicável a estudos sobre determinantes sociais da saúde em municípios brasileiros. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 29, n. 2, mar. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/mqHNM8GKgpKVshZMHQSVxtx/?lang=pt#>. Acesso em: 22 dez. 2022.
- MULAIK, S. A. *Linear causal modeling with structural equations*. Flórida: Chapman and Hall/CRC, 2009.
- NORONHA, K. V. M. d. S. et al. Pandemia por covid-19 no brasil: análise da demanda e da oferta de leitos hospitalares e equipamentos de ventilação assistida segundo diferentes cenários. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/MMd3ZfwYstDqbpRxFRR53Wx/?lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- PAIVA, L. H. et al. Evitando a pandemia da pobreza: possibilidades para o programa bolsa família e para o cadastro único em resposta à covid-19. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 54, p. 1097–1110, jul/ago. 2020.
- PALMER, K. et al. The potential long-term impact of the covid-19 outbreak on patients with non-communicable diseases in europe: consequences for healthy ageing. *Aging clinical and experimental research*, Springer, v. 32, p. 1189–1194, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40520-020-01601-4>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- RÍOS, O. L.; MOMPART, A.; WUNSCH, G. Système de soins et mortalité régionale: une analyse causale. *European Journal of Population/Revue Européenne de Démographie*, Holanda do Norte, v. 8, n. 4, p. 363–379, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20164633>. Acesso em: 22 dez. 2022.

- ROCKLÖV, J.; SJÖDIN, H. High population densities catalyse the spread of covid-19. *Journal of travel medicine*, Oxford University Press, v. 27, n. 3, p. taaa038, maio 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32227186/>. Acesso em: 19 de Dezembro de 2022.
- ROSSEEL, Y. lavaan: An r package for structural equation modeling. *Journal of statistical software*, v. 48, p. 1–36, maio 2012. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v048i02>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- SANTOS, K. O. B. et al. Trabalho, saúde e vulnerabilidade na pandemia de covid-19. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/W7bdfWDGNnt6jHCcCChF6Tg/>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- SATORRA, A.; BENTLER, P. Scaling corrections for statistics in covariance structure analysis. 1988. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/3141h70c>. Acesso em: 23 dez. 2022.
- SATORRA, A.; BENTLER, P. M. A scaled difference chi-square test statistic for moment structure analysis. *Psychometrika*, v. 66, n. 4, p. 507–514, dez. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02296192>. Acesso em: 23 dez. 2022.
- SCHUMACKER, R. E.; LOMAX, R. G. *A beginner's guide to structural equation modeling*. 2. ed. Nova Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2004.
- SEGATTO, C. I. et al. Inequalities and the COVID-19 pandemic in Brazil: analyzing un-coordinated responses in social assistance and education. *Policy and Society*, v. 41, n. 2, p. 306–320, 02 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/polsoc/puac005>. Acesso em: 19 dez. 2022.
- SINGER, M. A dose of drugs, a touch of violence, a case of aids: conceptualizing the sava syndemic. *Free Inquiry in Creative Sociology*, v. 28, n. 1, p. 13–24, 2000. Disponível em: <https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/FICS/article/view/1346>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- SOLAR, O.; IRWIN, A. A conceptual framework for action on the social determinants of health. World Health Organization, 2010. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44489>. Acesso em: 18 dez. 2022.
- TOBIAS, S.; CARLSON, J. E. Brief report: Bartlett's test of sphericity and chance findings in factor analysis. *Multivariate behavioral research*, v. 4, n. 3, p. 375–377, 1969. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr0403\\_8](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr0403_8). Acesso em: 1 fev. 2023.
- VASCONCELOS, A. M. N. et al. A pandemia da covid-19 e as desigualdades no distrito federal e sua Área metropolitana. In: CRV, E. (Ed.). **PANORAMA DA COVID-19 NO BRASIL**. Curitiba - Brasil: Editora CRV, 2022. cap. 35, p. 383–393. Disponível em: <https://www.editoracrv.com.br/produtos/detalhes/37136-panorama-da-covid-19-no-brasil>. Acesso em: 17 dez. 2022.
- VASCONCELOS, A. M. N. et al. Panorama da covid-19 no distrito federal e Área metropolitana. In: CRV, E. (Ed.). **PANORAMA DA COVID-19 NO BRASIL**. Curitiba - Brasil: Editora CRV, 2022. cap. 18, p. 383–393. Disponível em: <https://www.editoracrv.com.br/produtos/detalhes/37136-panorama-da-covid-19-no-brasil>.

[//www.editoracrv.com.br/produtos/detalhes/37136-panorama-da-covid-19-no-brasil](http://www.editoracrv.com.br/produtos/detalhes/37136-panorama-da-covid-19-no-brasil)}. Acesso em: 17 dez. 2022.

VASCONCELOS, A. M. N.; PEREIRA, J. M. P. D.; DUTRA, K. T. A vida adulta na metrópole e as desigualdades no mundo do trabalho. In: BRASÍLIA, E. U. de (Ed.). ***Território e sociedade: as múltiplas faces de Brasília metropolitana***. Brasília, DF: Unb, 2019. p. 291–301.

WEST STEPHEN G.; TAYLOR, A. B.; WU, W. Model fit and model selection in structural equation modeling. In: HOYLE, R. H. (Ed.). ***Handbook of structural equation modeling***. [S.l.]: Nova Iorque, 2012. cap. 13, p. 209–231.

WHO, World Health Organization. . ***WHO Global Action Plan for the Prevention and Control Of Noncommunicable Diseases 2013-2020***. Suíça, 2013. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506236>}. Acesso em: 24 dez. 2022.

WIRAYUDA, A. A. B. et al. A structural equation model to explore sociodemographic, macroeconomic, and health factors affecting life expectancy in oman. ***Pan African Medical Journal***, v. 41, n. 1, 2022.

## Anexo

Tabela 11: Resultados da análise fatorial exploratória, utilizando 2 fatores. Sem exclusão de itens problemáticos.

Indicador	Comunalidade	Especificidade	Fatores	
			Fator 1	Fator 2
Sem plano de saúde	0,91	0,09	<b>0,95</b>	0,02
Não é servidor público	0,88	0,12	<b>0,94</b>	-0,02
Renda per capita	0,87	0,13	<b>-0,93</b>	0,04
Negros	0,93	0,07	<b>0,93</b>	0,22
Sem ensino superior completo	0,87	0,13	<b>0,90</b>	-0,28
Qtd média pessoas/banheiros	0,95	0,05	<b>0,89</b>	0,35
Idosos	0,78	0,22	<b>-0,86</b>	-0,16
Tem entulho	0,75	0,25	<b>0,80</b>	-0,36
Deslocamento para área central	0,61	0,39	<b>-0,76</b>	0,21
Bolsa Família (por dom.)	0,56	0,44	<b>0,75</b>	-0,08
Não tem rua asfaltada	0,42	0,58	<b>0,64</b>	0,09
Não tem rua iluminada	0,63	0,37	<b>0,58</b>	<b>0,51</b>
Tem esgoto a céu aberto	0,65	0,35	0,49	<b>-0,66</b>
Equipamentos	0,27	0,73	<b>-0,48</b>	0,23
Densidade (Dom/hab.)	0,20	0,80	<b>-0,34</b>	<b>0,31</b>
Número de atendimentos	0,63	0,37	0,32	<b>0,72</b>
<hr/>				
<b>Correlação entre os fatores</b>				
Fator 1			1,00	0,04
Fator 2			0,04	1,00
<hr/>				
<b>Variância</b>			9,08	1,82
<b>% Variância</b>			0,57	0,11
<b>Variância acumulada</b>			0,57	0,68

Tabela 12: Resultados da análise fatorial exploratória, utilizando 3 fatores. Sem exclusão de itens problemáticos.

Indicador	Comunalidade	Especificidade	Fatores		
			Fator 1	Fator 2	Fator 3
Deslocamento para área central	0,83	0,17	<b>-1,00</b>	0,27	0,09
Renda per capita	0,93	0,07	<b>-0,94</b>	-0,06	0,00
Sem plano de saúde	0,93	0,07	<b>0,85</b>	0,19	0,07
Sem ensino superior completo	0,88	0,12	<b>0,84</b>	-0,07	0,26
Não é servidor público	0,89	0,11	<b>0,84</b>	0,16	0,10
Equipamentos	0,46	0,54	<b>-0,75</b>	0,34	0,11
Idosos	0,79	0,21	<b>-0,75</b>	-0,30	0,02
Negros	0,93	0,07	<b>0,73</b>	0,41	0,02
Qtd média pessoas/banheiros	0,95	0,05	<b>0,64</b>	<b>0,55</b>	-0,03
Tem entulho	0,77	0,23	<b>0,58</b>	-0,02	<b>0,50</b>
Bolsa Família (por dom.)	0,59	0,41	<b>0,46</b>	0,23	0,34
Tem esgoto a céu aberto	0,83	0,17	0,13	-0,18	<b>0,87</b>
Número de atendimentos	0,63	0,37	0,12	<b>0,72</b>	-0,36
Densidade (Dom/hab.)	0,50	0,50	0,12	-0,15	<b>-0,71</b>
Não tem rua iluminada	0,78	0,22	0,09	<b>0,82</b>	0,10
Não tem rua asfaltada	0,72	0,28	0,06	<b>0,58</b>	<b>0,52</b>
<b>Correlação entre os fatores</b>					
Fator 1			1,00	0,36	0,34
Fator 2			0,36	1,00	0,13
Fator 3			0,34	0,13	1,00
<b>Variância</b>					
			7,23	2,80	2,39
<b>Variância (%)</b>					
			0,45	0,18	0,15
<b>Variância acumulada</b>					
			0,45	0,63	0,78

Quadro 3: Resultados dos testes de adequação para a análise fatorial exploratória, utilizando 2 e 3 fatores.

Testes	Qui-quadrado	p-valor
<i>Modelo da tabela 11</i>		
$H_0$ : 2 fatores são suficientes	81,69	0,700
$H_1$ : São necessário mais fatores		
<i>Modelo da tabela 6</i>		
$H_0$ : 2 fatores são suficientes	37	0,730
$H_1$ : São necessários mais fatores		
<i>Modelo da tabela 12</i>		
$H_0$ : 3 fatores são suficientes	35,53	1,000
$H_1$ : São necessários mais fatores		
<i>Modelo da tabela 7</i>		
$H_0$ : 3 fatores são suficientes	19,14	0,790
$H_1$ : São necessário mais fatores		

Tabela 13: Resultados da análise fatorial confirmatória considerando um fator de vulnerabilidade social. Comparação dos índices de ajuste para 3 modelos.

N.º	Modelo	df*	$\chi^2$	CFI	TLI	RMSEA	RMSEA IC 90%	SRMR
1	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Renda per capita + Bolsa família + Não é servidor público + Sem Ensino Superior completo + População Negra + População Idosa + Densidade (Dom/hab.) + Qtd. média pessoas/banheiros + Equipamentos + Deslocamento para área central + Sem plano de saúde + Número de atendimentos + Tem entulho + Tem esgoto a céu aberto + Não tem rua asfaltada + Não tem rua iluminada  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	151	480,323 ( $p < 0,001$ )	0,646	0,600	0,223	0,200; 0,245	0,117
2	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Renda per capita + Não é servidor público + População Negra + Qtd. média pessoas/banheiros + Equipamentos + Deslocamento para área central + Sem plano de saúde + Tem entulho + Não tem rua asfaltada  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	53	170,937 ( $p < 0,001$ )	0,803	0,755	0,225	0,186; 0,265	0,093
3	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Renda per capita + Não é servidor público + População Negra + Sem plano de saúde + Tem entulho  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	19	28,351 ( $p = 0,077$ )	0,975	0,963	0,106	0,000; 0,185	0,067

Tabela 14: Resultados da análise fatorial confirmatória considerando 2 fatores: Vulnerabilidade social e Infraestrutura urbana precária. Comparação dos índices de ajuste para 3 modelos.

N.º	Modelo	df*	$\chi^2$	CFI	TLI	RMSEA	RMSEA IC 90%	SRMR
1	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Renda per capita + Bolsa família + Não é servidor público + Sem Ensino Superior completo + População Negra + População Idosa + Qtd. média pessoas/banheiros + Equipamentos + Deslocamento para área central + Sem plano de saúde  <b>Infraestrutura precária =~</b> Não tem rua asfaltada + Tem esgoto a céu aberto  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Vulnerabilidade social ~</b> <b>Infraestrutura precária</b>  <b>Mortalidade adulta~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	88	296,481 ( $p < 0,001$ )	0,736	0,685	0,232	0,203; 0,262	0,090
2	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Renda per capita + Não é servidor público + População Negra + Sem plano de saúde  <b>Infraestrutura precária =~</b> Não tem rua asfaltada + Tem esgoto a céu aberto  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Vulnerabilidade social ~</b> <b>Infraestrutura precária</b>  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	25	65,614 ( $p < 0,001$ )	0,895	0,848	0,192	0,136; 0,250	0,086
3	<b>Vulnerabilidade social =~</b> Não é servidor público + População Negra + Sem plano de saúde  <b>Infraestrutura precária =~</b> Não tem rua asfaltada + Tem entulho  <b>Mortalidade adulta =~</b> Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos + Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos + Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos  <b>Vulnerabilidade social ~</b> <b>Infraestrutura precária</b>  <b>Mortalidade adulta ~</b> <b>Vulnerabilidade social</b>	18	29,202 ( $p = 0,046$ )	0,957	0,934	0,119	0,024; 0,192	0,074

Tabela 15: Índices de modificação para o modelo (a).

lhs	MI	EPC	EPC padronizado
Mortalidade adulta =~	7,921	-0,289	-0,186
Renda per capita			
Vulnerabilidade social =~	4,903	-0,707	-0,673
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos			
Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos ~~	4,903	-0,249	-0,413
Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos			
Renda per capita ~~	2,615	-0,048	-0,722
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos			
Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos ~~	2,613	0,310	1,881
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos			

Tabela 16: Índices de modificação para o modelo (b).

lhs	MI	EPC	EPC padronizado
População negra ~~	7,232	0,139	0,441
Não tem rua asfaltada			
Taxa de Mortalidade - 60 a 69 anos ~~	4,785	-0,250	-0,412
Taxa de Mortalidade - 30 a 49 anos			
Vulnerabilidade social =~	4,784	-0,701	-0,642
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos			
Infraestrutura precária =~	3,174	-0,646	-0,386
Taxa de Mortalidade - 50 a 59 anos			
Infraestrutura precária =~	3,112	-0,416	-0,249
Sem plano de saúde			