Estatística de varredura espacial: tutorial metodológico com aplicação na mortalidade fetal do Brasil, 2014-2023

Indianara Maria de Barros Canuto [1]
https://orcid.org/0000-0003-0540-1252

Cristine Vieira do Bonfim [2]
https://orcid.org/0000-0002-4495-9673

Paulo Germano de Frias [3]
https://orcid.org/0000-0003-4497-8898

Amanda Priscila de Santana Cabral Silva [4]
https://orcid.org/0000-0003-2337-9925

[1,4] Instituto Aggeu Magalhães. Fundação Oswaldo Cruz Pernambuco. Av. Professor Moraes Rego, s.n. Cidade Universitária. Recife, PE, Brasil. CEP: 50.740-465. E-mail: indianarabarros@hotmail.com
[2] Fundação Joaquim Nabuco Pernambuco. Recife, PE, Brasil.
[3] Instituto de Medicina Integral Prof. Fernando Figueira. Recife, PE, Brasil.

Resumo

Objetivos: sistematizar um tutorial para a aplicação da estatística de varredura espacial sob o modelo discreto de Poisson, abrangendo dos seus pressupostos teóricos até a operacionalização analítica para detecção de aglomerados espaciais de risco para a mortalidade fetal.

Métodos: estatística de varredura espacial com cálculo do risco relativo. Para aplicação da técnica na mortalidade fetal do Brasil entre 2014 e 2023 a unidade de análise foram os municípios. O raio máximo incluiu até 10% dos nascimentos. Rejeitou-se a hipótese nula quando p<0,05 para o cluster mais provável. Para clusters secundários não foi permitida sobreposição espacial. Estruturou-se o tutorial partindo dos fundamentos teóricos e metodológicos da técnica, suas aplicações e limites na mortalidade fetal.

Resultados: formaram-se 11 clusters com 1.961 municípios das regiões Nordeste, Norte, Sudeste, Centro Oeste que foram estatisticamente significantes, representam 25% dos nascimentos e concentraram 39,7% dos óbitos. O cluster 1, apresentou 37% de risco ao óbito fetal e 697 municípios das regiões Nordeste e Sudeste.

Conclusão: a estatística de varredura espacial consiste em uma ferramenta que pode ser aplicada à vigilância em saúde no monitoramento da mortalidade fetal. Reconhecer a localização geográfica e o risco de cada região é uma vantagem adicional, que auxilia no gerenciamento eficaz dos recursos.

Palavras-chave *Mortalidade fetal, Estatísticas vitais, Sistemas de Informação em Saúde, Análise espacial, Monitoramento epidemiológico*

Este é um artigo publicado em acesso aberto *(Open Access)* sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

http://dx.doi.org/10.1590/1806-9304202620250433

Introdução

Na epidemiologia, as dimensões temporal, espacial e populacional são abordagens clássicas para delinear perfis epidemiológicos e possibilitar intervenções em saúde pública.[1] Ao conhecer a dinâmica espacial dos eventos em saúde é possível caracterizar sua ocorrência, identificar áreas de maior risco e contribuir com o planejamento de ações estratégicas voltadas as necessidades dos territórios.[2]

Os métodos e técnicas para a análise espacial permitem manusear dados georreferenciados de diferentes camadas e processar informações adicionais a partir deles,[3] ao verificar a existência de padrões espaciais e constatar se eles são aleatórios ou não.[4] Sua operacionalização, por meio do geoprocessamento, utiliza ferramentas de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de dados georreferenciados.[5]

Pesquisas com análise espacial permitem detectar padrões espaciais da mortalidade fetal, identificar áreas de maior risco à ocorrência dos óbitos, subsidiar o planejamento de ações em áreas que necessitam de atenção prioritária dos gestores para a reestruturação da rede de saúde materna e infantil.[6] Além de monitorar a efetividade das ações propostas para a redução dos óbitos.[7]

A mortalidade fetal, relaciona-se à saúde materna e infantil, porém, não foi explicitada separadamente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apesar de indiretamente contemplada nas metas 3.1 e 3.2 que visam reduzir a mortalidade materna e prevenir mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças, respectivamente.[8] A visibilidade concedida à mortalidades materna e infantil, favorece a priorização de intervenções, seu monitoramento e em consequência a redução dos problemas.[9] Enquanto isso, as mortes fetais permanecem imperceptíveis à sociedade e ao poder público por não serem foco de atenção particular.[10] Portanto, a opção, neste tutorial, da aplicabilidade da análise espacial na mortalidade fetal como exemplo para o uso da técnica de estatística de varredura espacial.

Algumas pesquisas utilizaram a técnica de estatística de varredura espacial para a análise espacial da mortalidade fetal,[11-13] entretanto, persistem lacunas na utilização de métodos de análise espacial no processo de tomada de decisão e na elaboração de políticas em saúde.[9] As reflexões e ponderações ora apresentadas se propõem a contribuir com a saúde pública na indicação de ferramentas que auxiliem na identificação de desigualdades espaciais das condições da saúde materna e infantil e das fragilidades da rede assistencial em diferentes regiões.

Este tutorial destina-se aos estudantes de graduação e pós-graduação, pesquisadores das áreas de Saúde Pública, Bioestatística, Geografia da Saúde e Saúde Materna e Infantil, além de profissionais técnicos e gestores que atuam nas Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde, sobretudo no setor de vigilância em saúde, principalmente na vigilância epidemiológica e vigilância do óbito infantil e fetal. O tutorial assume que o leitor tenha conhecimentos prévios sobre epidemiologia, bioestatística e geoprocessamento.

Após a leitura do artigo espera-se que seja possível: entender a aplicação da estatística de varredura espacial sob o modelo discreto de Poisson, abrangendo dos seus pressupostos teóricos até a operacionalização analítica para detecção de aglomerados espaciais de risco para a mortalidade fetal.

Os conceitos e métodos trabalhados foram estruturadas com apoio no referencial proveniente de artigos científicos publicados em periódicos indexados nas bases de dados da Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e da *Public Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (PubMed), além da biblioteca virtual *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). A busca nessas bases foi realizada sem restrição de período e por meio das palavras-chaves "mortalidade fetal" e "análise espacial" e "natimorto" e "análise espacial" nos idiomas português, inglês e espanhol. Também foi utilizado o Manual do usuário do SaTScan™,[14] disponível para consulta no site desse programa de análise espacial. As explanações e ponderações foram organizadas nos seguintes tópicos: Estatística de varredura espacial: fundamentos teóricos e metodológicos; aplicações da estatística de varredura espacial na mortalidade fetal: possibilidades e limitações metodológicas.

Calculou-se o risco relativo (RR) e foi realizada a análise espacial com o uso da técnica de estatística de varredura espacial por meio do programa de acesso gratuito SaTScan™ 10.0.2. Esse programa permite detectar *clusters,* que consistem em aglomerados espaciais com agregado de eventos que não ocorrem meramente ao acaso. A identificação dos *clusters* é o foco principal das pesquisas de estatística espacial.[5]

Para exemplificar a aplicação de estatística de varredura espacial na mortalidade fetal foram utilizados dados dos municípios do Brasil (2014 a 2023) referentes aos óbitos fetais e nascimentos totais (óbitos fetais e nascidos vivos) extraídos dos Sistemas de Informações sobre Mortalidade (SIM) e do Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos (Sinasc) e obtidos na plataforma eletrônica do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde- DATASUS.[15] Os dados utilizados foram acessados em 17 de novembro de 2025.

O SIM e o Sinasc devem registrar todos os eventos vitais por meio da inclusão digital das informações da Declaração de Óbito (DO) e de Nascidos Vivos (DNV). Essas declarações são formulários padronizados com numeração única e distribuição em todo território

nacional pelo Ministério da Saúde. A DO é realizada obrigatoriamente por médicos para óbitos ocorridos a partir da 20ª semana de gestação. A DNV pode ser emitida por médicos, membros da equipe de enfermagem, ou da área administrativa dos serviços de saúde ou cartórios de registro civil.[16]

O estudo não necessitou de aprovação de um Comitê de Ética em Pesquisa, conforme as Resoluções nº 466/12 e 674/22 do Conselho Nacional de Saúde pois foram utilizados dados secundários de domínio público, agregados, que não possibilitam a identificação individual.

Estatística de varredura espacial: fundamentos teóricos e metodológicos

As estatísticas de varredura são utilizadas para reconhecer e avaliar *clusters* de casos em uma configuração temporal, espacial ou espaço-temporal.[14] Isso acontece pela varredura gradual de uma janela no decorrer do tempo e/ou do espaço, especificando o quantitativo de casos observados e esperados no seu interior nas diferentes localidades.[14] A janela de varredura é caracterizada por um intervalo (no tempo), um círculo ou uma elipse (no espaço) ou um cilindro com uma base circular ou elíptica (no espaço-tempo).[14]

De acordo com a natureza dos dados, a estatística de varredura utiliza diferentes modelos probabilísticos: Bernoulli (experimento aleatório único com apenas dois resultados possíveis e mutuamente exclusivos), discreto de Poisson ou de permutação no espaço-tempo (dados de contagem); modelo multinomial (dados categóricos); modelo ordinal (dados categóricos ordenados); modelo exponencial (dados de tempo de sobrevida); modelo normal (outros dados contínuos).[17]

No caso dos óbitos fetais no Brasil (2014 a 2023), foi utilizada a estatística de varredura espacial e adotado o modelo de probabilidade discreto de Poisson devido aos óbitos fetais por município no período estudado serem considerados dados de contagem. A técnica de estatística de varredura espacial verifica a ocorrência de um evento em saúde na população por meio da criação de janelas circulares de diferentes tamanhos e localização, cujo centro percorre a superfície do mapa, de modo que englobe um conjunto de vizinhos próximos que correspondem a uma área geográfica. São criados um número infinito de círculos distintos e cada círculo poderá formar um *cluster*.[14]

O modelo discreto de Poisson possui pressupostos fundamentais que são essenciais para a interpretação dos *clusters* identificados: independência dos eventos; taxa constante dentro de cada área (homogeneidade intra-área); proporcionalidade população-risco; problema de áreas com população pequena (Tabela Suplementar 1). Entender tais pressupostos é essencial para discutir as possibilidades e limitações da aplicação da estatística de varredura espacial em estudos sobre a mortalidade fetal.[14,18]

Para execução dessa técnica (Figura 1) é necessário a inclusão dos centroides, que se caracterizam pela coordenada geográfica correspondente ao centro do polígono da unidade de análise espacial.[14] Foram utilizados os centroides dos municípios brasileiros identificados a partir da malha cartográfica (Brasil por municípios- Edição 2024) disponível na plataforma eletrônica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) acessada em 17 de novembro de 2025 (Figura 2).[19]

No modelo discreto de Poisson, o número de casos em cada área é proporcional ao tamanho da sua população exposta. Assim, considerou-se como hipótese nula que o total de óbitos fetais do país são distribuídos de forma homogênea em todos os municípios, sendo proporcional aos seus nascimentos totais. A hipótese alternativa foi a de que o número total de óbitos fetais se distribui de maneira heterogênea, resultando em *clusters* com risco elevado de óbitos fetais.

Ao se mover por todos os centroides, o raio varia continuamente de zero ao raio máximo. Essa técnica faz uma varredura do espaço estudado, a fim de localizar um círculo na área com uma taxa de incidência muito grande dentro, e muito baixa fora deste círculo. O objetivo da técnica é identificar se o evento estudado está distribuído de maneira aleatória ou se apresenta agrupamentos estatisticamente significantes.[14]

Sob a premissa de Poisson, a função de verossimilhança para uma janela específica é proporcional a:

$$\left(\frac{c}{E[c]}\right)^{c}\left(\frac{C\text{-}c}{C\text{-}E[c]}\right)^{C\text{-}c} I(Z)$$

Quando o programa está configurado para detectar apenas aglomerados com risco superior ao esperado (altas taxas):

$$I(Z)=\begin{cases}1, \text{ se } c>E[c]\\ 0, \text{ se } c\leq E[c]\end{cases}$$

Quando o programa está configurado para detectar apenas aglomerados com risco inferior ao esperado (baixas taxas):

$$I(Z)=\begin{cases}1, \text{ se } c<E[c]\\ 0, \text{ se } c\geq E[c]\end{cases}$$

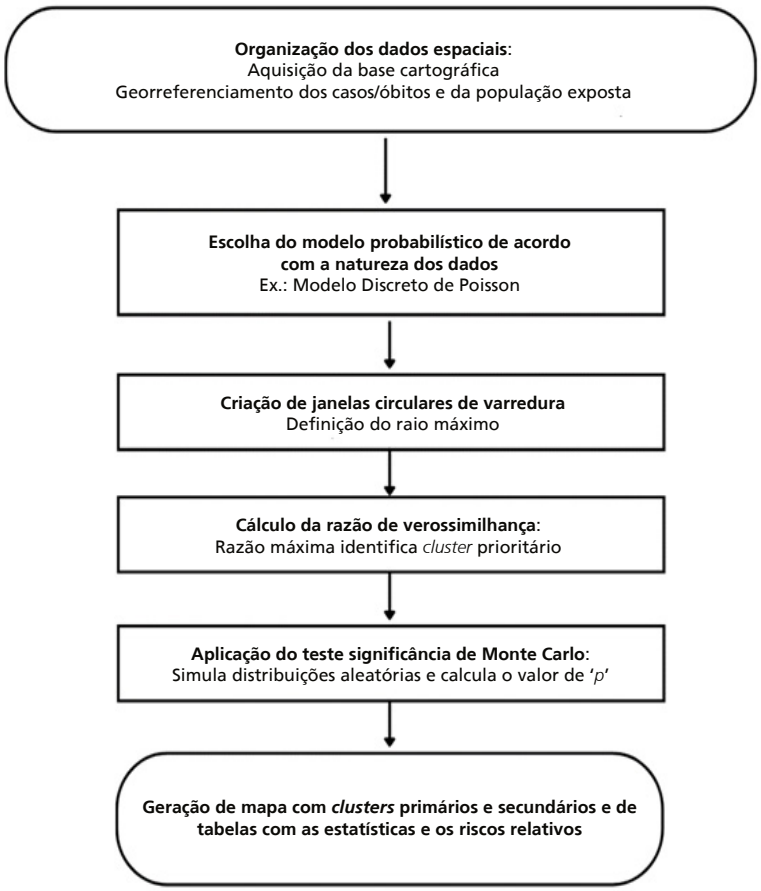
Quando o programa está configurado para detectar aglomerados com altas ou baixas taxas:

$$I(Z)=1$$

Onde ‘C’ é número total de casos, ‘c’ é o número de casos observados dentro da janela e ‘E(c)’ é o número de casos esperados ajustado por covariáveis dentro da janela

Figura 1

Etapas da modelagem de varredura espacial.



sob a hipótese nula. Quando a análise é condicionada ao número total de casos observados, 'C-E[c]' é o número de casos esperados fora da janela. I() é uma função indicadora. Sempre que o programa de análise espacial está configurado para a varredura apenas de aglomerados com altas taxas, I() é igual a 1 quando a janela tem mais casos do que o esperado sob a hipótese nula, e 0, do contrário.[18] Quando o SaTScan™ está configurado para executar a varredura somente para aglomerados com taxas baixas, verifica-se o oposto. Por sua vez, quando o programa realiza a varredura para aglomerados com altas ou baixas taxas, então I() = 1 para todas as janelas.[14]

A função de verossimilhança baseia-se no método da máxima verossimilhança para comparar o número de casos observados dentro de uma janela de varredura com o número esperado sob a hipótese nula de aleatoriedade espacial.[14]

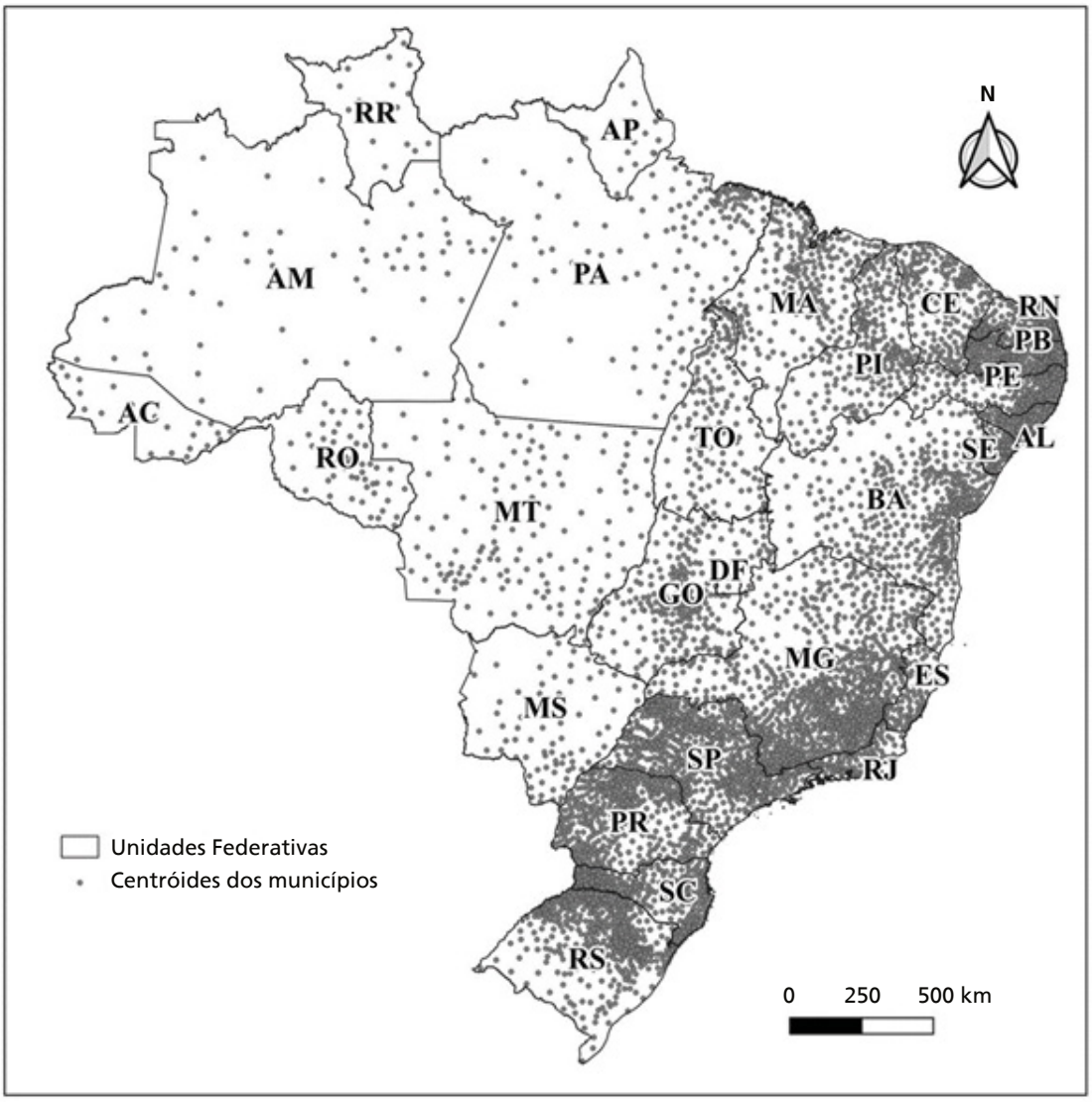
Para a identificação dos *clusters* uma função de verossimilhança é criada para cada janela de varredura e maximizada em todas. A máxima verossimilhança aponta o *cluster* mais provável chamado de primário, que representa o agrupamento com menor probabilidade de ter ocorrido ao acaso. Também são localizados *clusters* secundários, que são aqueles que apresentaram altos valores no teste de razão de verossimilhança. Para cada *cluster*, são fornecidas estatísticas pelo programa de análise espacial. O valor de '*p*' é obtido por meio do teste de hipótese de Monte Carlo, que compara a máxima verossimilhança do conjunto de dados reais com as máximas verossimilhanças dos conjuntos de dados aleatórios.[18]

A análise de Monte Carlo consiste em uma série de algoritmos computacionais que funcionam por meio da amostragem repetida de vários valores possíveis, calculando uma série de distribuições de probabilidade. A vantagem dessa técnica é que ela permite alcançar maior precisão na descrição da incerteza das variáveis utilizadas, usada principalmente quando não é viável calcular resultados exatos.[18]

Neste artigo, foi considerado que o raio máximo incluiu até 10% da população total. As janelas circulares avaliaram a proporção entre os óbitos e os nascimentos, e por meio da adaptação em diferentes raios verificam a relação entre os resultados observados e esperados.[18] A função de probabilidade foi maximizada sobre todas as janelas e identificou-se o *cluster* mais provável. A razão de probabilidade para essa janela constituiu o teste estatístico da razão de probabilidade máxima. A distribuição sob a hipótese nula e o valor de '*p*' simulado correspondente foi

Figura 2

Mapa de localização dos centroídes dos municípios do Brasil.



AC=Acre; AM=Amazonas; RR=Roraima; RO=Rondônia; AP=Amapá; PA=Pará; MT=Mato Grosso; MS=Mato Grosso do Sul; GO=Goiás; DF=Distrito Federal; TO=Tocantons; MA=Maranhão; PI=Piauí; CE=Ceará; BA=Bahia; SE=Sergipe; AL=Alagoas; PE=Pernambuco; PB=Paraíba; RN=Rio Grande do Norte; MG=Minas Gerais; ES=Espírito Santo; RJ=Rio de Janeiro; SP=São Paulo; PR=Parana; SC=Santa Catarina; RS=Rio Grande do Sul.

obtida pela repetição do mesmo exercício analítico, num grande número de réplicas aleatórias (999) do conjunto de dados gerados sob a hipótese nula, numa simulação do tipo Monte Carlo. A hipótese nula foi rejeitada quando $p<0,05$ para o *cluster* mais provável, indicando que naquela localidade foi observado que o risco de óbito fetal entre os nascidos totais é maior do que o risco esperado na mesma localidade. Como critério para *clusters* secundários adotou-se não permitir sobreposição espacial. Não se utilizou correção para múltiplas proporções considerando que não foram verificados vários desfechos. O número máximo de *clusters* reportados foi delimitado pelo programa SaTScan™.

O risco relativo foi verificado pelo risco estimado dentro do aglomerado dividido pelo risco estimado fora do aglomerado.[20] Calculou-se como o observado dividido pelo esperado dentro do aglomerado, dividido pelo observado dividido pelo esperado fora do aglomerado:

$$RR=\frac{c|E[c]}{(C\text{-}c)/(E[C]\text{-}E[c])}=\frac{c/E[c]}{(C\text{-}c)/(C\text{-}E[c])}$$

onde 'c' é o número de casos observados dentro do aglomerado e 'C' é o número total de casos no conjunto de dados. Uma vez que a análise é condicionada ao número total de casos observados, 'E[C]=C'.[14]

No caso dos óbitos fetais no Brasil (2014 a 2023), foram identificados 11 *clusters* estatisticamente significantes, formados por 1.961 municípios localizados em todos os estados da Região Nordeste e em estados das Regiões Norte (Amazonas, Pará, Acre, Tocantins, Amapá,

Roraima); Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro); Centro Oeste (Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul) e no Distrito Federal (Centro Oeste). Esses agregados respondem por 25% dos nascimentos totais do país e concentraram 39,7% dos óbitos fetais. O *cluster* 1, formado por 697 municípios localizados nos estados de Pernambuco, Alagoas, Piauí, Sergipe, Bahia (Região Nordeste) e Minas Gerais (Sudeste). Nesse *cluster*, o risco dos nascimentos totais configurarem óbito fetal foi 37% maior se comparado a outros municípios (Figura 3, Tabela 1).

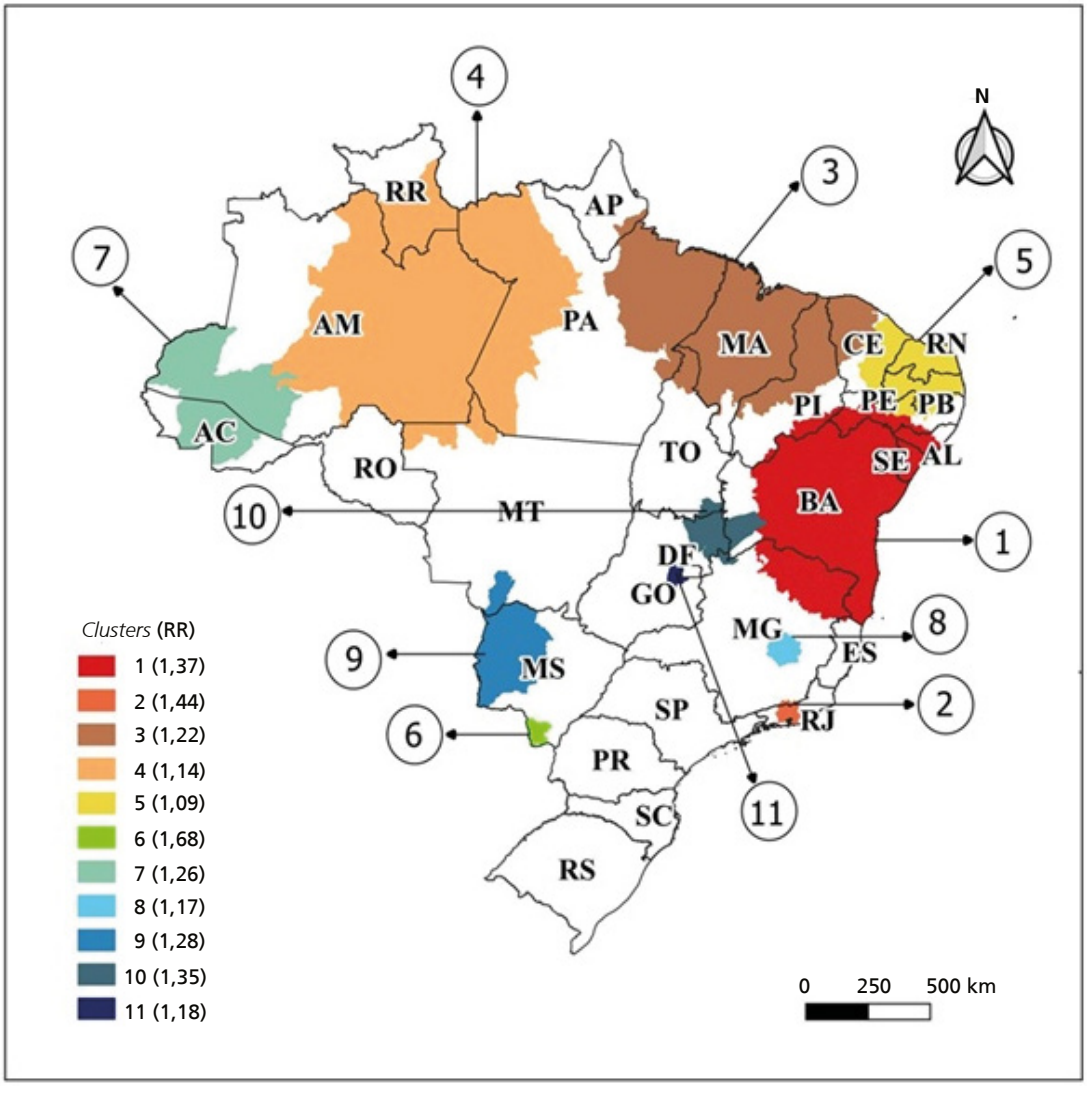
Aplicações da estatística de varredura espacial na mortalidade fetal: possibilidades e limitações metodológicas

A técnica de estatística de varredura espacial permite observar se a distribuição da ocorrência dos óbitos fetais acontece em um padrão aleatório, ou se apresenta *clusters*.[12,21] A aplicação desta técnica possibilita a realização de testagens múltiplas para comprovar hipóteses sobre a existência de risco elevado ao óbito fetal em determinadas localidades.[17] A estatística de varredura espacial tem implicações para a formulação, monitoramento, avaliação de políticas e para o delineamento de futuras iniciativas de saúde pública.21

Ao destacar os padrões de distribuição espacial dos óbitos fetais é possível subsidiar os gestores no planejamento e alocação de recursos de forma mais eficaz direcionando intervenções para as áreas que necessitam de melhoria dos indicadores de saúde materna e infantil e de fortalecimento dos serviços de assistência pré-natal e obstétrica.[22] Para o fortalecimento dos serviços de atenção ao pré-natal é essencial a garantia da realização de seis ou mais consultas com início no

Figura3

Clusters de risco ao óbito fetal (n=298.021). Brasil, 2014 a 2023.



RR=risco relativo.

Tabela1

Características dos *clusters* de óbitos fetais (n=298.021). Brasil, 2014 a 2023

Cluster	Nº de municípios	Nº de óbitos		% Óbitos	% Nascimentos	Risco Relativo	*p*
		Observados	Esperados				
1	697	39.048	29.596	13,2	2,9	1,37	<0,0001
2	30	10.923	7.650	3,7	2,6	1,44	<0,0001
3	543	35.274	29.630	11,9	10	1,22	<0,0001
4	68	10.242	9.031	3,5	3	1,14	<0,0001
5	508	**15.925**	14.668	5,4	4,9	1,09	<0,0001
6	5	299	178	0,1	0,1	1,68	<0,0001
7	14	1.035	819	0,3	0,3	1,26	<0,0001
8	45	2.031	1.741	0,7	0,6	1,17	<0,0001
9	14	780	609	0,3	0,2	1,28	<0,0001
10	28	495	366	0,2	0,1	1,35	<0,0001
11	9	1.103	931	0,4	0,3	1,18	0,0018

primeiro trimestre da gestação, com oferta de vacinação, realização de exames laboratoriais, diagnóstico oportuno e o tratamento adequado a fim de contribuir com o declínio da mortalidade.[8]

A reestruturação da rede de saúde materna e infantil baseia-se na melhoria da qualidade da assistência anteparto e intraparto.[23] Para isso é fundamental a ampliação e qualificação dos recursos humanos e dos leitos de obstetrícia clínica e cirúrgica e de unidade de terapia intensiva (UTI) materna e neonatal, sobretudo nas áreas apontadas como prioritárias pela análise espacial.[22]

Essas ações podem auxiliar na redução do tempo de deslocamento até o serviço de saúde especializado, evitando a peregrinação das gestantes na rede de saúde e contribuir com a sobrevivência da mulher e do bebê.[24] Os impactos das ações em saúde pública também podem ser monitorados por meio da realização de estudos que utilizem a estatística de varredura espacial.[21]

A aplicação dessa técnica nas fases de delineamento e avaliação podem aumentar a eficácia das intervenções em saúde.[25] Contudo, a principal desvantagem da estatística de varredura espacial é que existe a possibilidade de detectar um *cluster* maior do que seu tamanho real, pois a varredura circular pode incorporar áreas com baixo número de casos que estão rodeadas por áreas com elevado número.[18]

Destacam-se outras limitações desta técnica, como o uso de centroides que concentram os casos em um ponto geográfico, o que pode implicar em imprecisão de dados em áreas com dimensões territoriais intra-municipais muito extensas. Assim como, o uso de janelas em formato circular ou elíptico, assumindo que os *clusters* têm formato regular o que pode não refletir a realidade. Pode haver dificuldade em detectar múltiplos *clusters* sobrepostos, pois, o programa tende a identificar apenas o *cluster* com maior razão de verossimilhança. Os parâmetros de sensibilidade da escolha do raio máximo da janela de varredura influenciam diretamente o tamanho e a localização dos *clusters* detectados, valores muito altos são capazes de superestimar os resultados e valores muito baixos de subestimar. Também pode ocorrer os efeitos de borda (*edge effects*), quando áreas nos limites da região estudada têm menor probabilidade de serem incluídas nas janelas circulares.[14,18]

A subnotificação diferencial é um problema que deve ser reconhecido para a interpretação dos resultados da estatística de varredura espacial, pois, é possível que a subnotificação dos óbitos fetais não seja homogênea no território brasileiro e produza diferenças sistemáticas na distribuição dos *clusters* de mortalidade. Soma-se a isso o risco da falácia ecológica, pois, a análise realizada com dados agregados não pode ser inferida para dados individuais.[14,18]

Em algumas situações não é indicado o uso da estatística de varredura espacial. Por exemplo, quando o objetivo do trabalho é estimar o risco individual e fatores de risco causal, pois a detecção de clusters não possibilita tais resultados. Na análise de eventos raros com poucos casos, muitas áreas sem notificações e em populações muito pequenas também não se deve optar pelo uso da varredura espacial, pois podem ser identificados

clusters instáveis e muito sensíveis. Outra restrição para aplicação desse método são os eventos que se distribuem ao longo de rodovias, curso de rios, ou em áreas restritas e muito irregulares, pois os aglomerados reais poderiam ser distorcidos pelos formatos circular das janelas de varredura, o que poderia superestimar ou subestimar a área do *cluster*.

Outros métodos alternativos também podem ser usados para detecção de *clusters* espaciais e apresentam vantagens e desvantagens em relação a estatística de varredura espacial. O Índice de Moran Local (LISA) representa uma medida de autocorrelação espacial local que visa identificar áreas com valores semelhantes ou divergentes em relação aos vizinhos. Possui como vantagens não determinar formato geométrico específico e permite detectar áreas prioritárias para intervenção, *clusters* de altas taxas com vizinhos de taxas altas. Entretanto, diferente da estatística de varredura espacial não é um modelo probabilístico de risco, além de ser sensível à definição de uma matriz de vizinhança.[4]

O FleXScan representa uma estatística de varredura, que expande a busca conectando áreas vizinhas, sendo mais indicado na detecção de *clusters* de eventos que se distribuem pelo curso de rios, estradas ou áreas irregulares[26] diferente do SaTScan™ que utiliza janelas circulares ou elípticas para varrer a superfície do mapa. Já os métodos bayesianos padrão de suavização de taxas não realizam teste formal de hipótese para *clusters* da mesma maneira que o SaTScan™.[27]

Análise espacial, apesar de essencial para a epidemiologia e fundamental na compreensão de eventos em saúde, ainda é considerada complexa, o que pode dificultar sua aplicação, não sendo utilizada em toda sua potencialidade.[28] Para adequada execução das técnicas e interpretação dos resultados é necessário a aproximação de conhecimentos teóricos e treinamentos no uso de ferramentas computacionais.[29] Uma estratégia a ser adotada é a elaboração de cursos por instituições de ensino e pesquisa, como as iniciativas da Fundação Oswaldo Cruz (Curso de Geoprocessamento e Análise Espacial em Saúde) e do Programa de Fortalecimento da Epidemiologia nos Serviços de Saúde do Ministério da Saúde em parceria com a Organização Pan-Americana da Saúde.

Nas buscas em bases de dados acadêmicos realizadas para elaboração deste tutorial verificou-se apenas três pesquisas que se assemelham ao proposto neste trabalho (Tabela 2). Estudos sobre mortalidade fetal que utilizaram a técnica de estatística de varredura espacial podem contribuir na identificação de áreas com maior risco à mortalidade. Pois, discutir esse problema de saúde pública e fornecer subsídios à tomada de decisão poderá direcionar a alocação de recursos para o fortalecimento de práticas assistenciais que possibilitem a redução das mortes evitáveis.[9]

Tabela 2

Estudos sobre mortalidade fetal que utilizaram a técnica de estatística de varredura espacial.

Título	Autores (Ano de publicação)	Aplicabilidade do método
Spatial distribution of stillbirth and associated factors in Ethiopia: a spatial and multilevel analysis.	Tesema *et al.*[11] (2020)	Foi realizada uma análise de com base nos dados do Inquérito Demográfico e de Saúde da Etiópia de 2016. Uma amostra ponderada total de 11.375 mulheres foi incluída na análise. O modelo de Bernoulli foi ajustado para identificar áreas de maior incidência para explorar a distribuição espacial da natimortalidade.
Análise espacial das desigualdades na mortalidade fetal e infantil por causas evitáveis	Bonfim *et al.*[12] (2020)	Foram estudados os óbitos fetais e infantis evitáveis de residentes do Recife/ Brasil. As taxas de mortalidade fetal evitável e mortalidade infantil evitável foram calculadas para dois períodos de cinco anos, 2006-2010 e 2011-2015. A estatística de varredura espacial foi utilizada para análise espacial e relacionada ao índice de privação social. Foi utilizado o modelo de Poisson.
Spatial patterns of fetal loss and infant death in an arsenic-affected area in Bangladesh	Sohel *et al.*[13] (2010)	Gestantes de Matlab, Bangladesh, que usaram água de poço artesiano para beber durante a gravidez entre 1991 e 2000, foram incluídas neste estudo. Aplicou-se a varredura espacial para identificar agrupamentos espaciais e espaço-temporais únicos e não aleatórios de morte fetal e infantil. Foram usados modelos retrospectivos de permutação espacial e espaço-temporal e de probabilidade de Poisson.

Apesar das limitações intrínsecas e extrínsecas ao método discutido, suas potencialidades e aplicações sobressaem-se, e por isso podem ser considerados viáveis para a saúde pública. A técnica de estatística de varredura espacial, adotada no estudo, pode ser mais uma ferramenta utilizada pela vigilância em saúde para monitorar a mortalidade fetal, sobretudo na rotina dos serviços de vigilância do óbito. Reconhecer a localização geográfica exata e o risco de cada região é uma vantagem adicional, que auxilia no gerenciamento eficaz dos recursos.

Contribuição dos autores

Canuto IMB, Bonfim CV, Frias PG e Silva APSC: contribuíram para a concepção, estruturação, análise e interpretação dos dados, e desenvolveram ou realizaram

a revisão crítica do artigo, com o objetivo de obter um conteúdo intelectual condizente com esta revista.

Todos os autores aprovaram a versão final do artigo e declaram não haver conflito de interesse.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (APQ-0389-4.06/20), por meio do Programa de Pesquisa Para o Sistema Único de Saúde: Gestão Compartilhada em Saúde (PPSUS/PE-2020).

Uso de inteligência artificial

Não houve utilização de ferramentas de inteligência artificial na elaboração do manuscrito.

Disponibilidade dos dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Referências

1. Czeresnia D, Ribeiro AM. O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. Cad Saúde Pública. 2000; 16 (3): 595-605. doi: 10.1590/S0102-311X2000000300002.
2. Maugeri A, Barchitta M, Schillaci G, Agodi A. Spatial patterns and temporal trends in stillbirth, neonatal, and infant mortality: an exploration of country-level data from 2000 to 2021. J Glob Health. 2025 Feb 21; 15: 04034. doi: 10.7189/jogh.15.04034.
3. Chandran A, Roy P. Applications of geographical information system and spatial analysis in Indian health research: a systematic review. BMC Health Serv Res. 2024 Nov; 24 (1): 1448. doi: 10.1186/s12913-024-11837-9.
4. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association — LISA. Geographical Analysis. 1995 Apr; 27 (2): 93-115. doi: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.
5. Nardi SMT, Paschoal JAA, Pedro HSP, Paschoal VDA, Sichieri EP. Geoprocessamento em Saúde Pública: fundamentos e aplicações. Rev Inst Adolfo Lutz. São Paulo, 2013 Mar; 72 (3): 185-91. doi: 10.18241/0073-98552013721562.
6. Huang-Fu HQ, Wang L, Karmacharya B, Koirala UK, Ke CW, Liang D, *et al*. Spatial profiling of geographical accessibility to maternal healthcare and coverage of maternal health service utilisation in Nepal: a geospatial analysis based on demographic and health survey. BMJ Glob Health. 2025 Feb 13; 10 (2): e017229. doi:10.1136/bmjgh-2024-017229
7. Venkatesh U, Bera OP, Grover A, Shastri S, Chakraborty S. Epidemiology and determinants of stillbirth disparities in India: a geospatial hotspot clustering study using integrated population-level data. Lancet Reg Health Southeast Asia. 2025 Aug; 40: 100647. doi: 10.1016/j.lansea.2025.100647.
8. Rocha JBFD, Bezerra IMP, Oliveira EKDS, Sena ABE, Leitão FNC, Abreu LC. Space-time trends in fetal mortality in Brazil, 1996-2021. Rev Saúde Pública. 2025 Mar; 59: e2. doi: 10.11606/s1518-8787.2025059006194.
9. Nahas AK, Alencar GP. Spatial distribution of fetal mortality and correlation with indicators on women's health and vulnerability in São Paulo city, Brazil, Brasil. Rev Bras Saúde Matern Infant. 2024; 24: e20220138. doi:10.1590/1806-9304202400000138-en.
10. Gazeley U, Eilerts-Spinelli H, Wilde J, Blencowe H, Liu L, Graham W, *et al*. Accounting for stillbirths in maternal health metrics: a cross-country analysis. EClinicalMedicine. 2025; 85: 103303. doi: 10.1016/j.eclinm.2025.103303.
11. Tesema GA, Gezie LD, Nigatu SG. Spatial distribution of stillbirth and associated factors in Ethiopia: a spatial and multilevel analysis. BMJ Open. 2020 Oct; 10 (10): e034562. doi: 10.1136/bmjopen-2019-034562.
12. Bonfim CVD, Silva APSC, Oliveira CM, Vilela MBR, Freire NCF. Spatial analysis of inequalities in fetal and infant mortality due to avoidable causes. Rev Bras Enferm. 2020; 73 (Suppl. 4): e20190088. doi: http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0088.
13. Sohel N, Vahter M, Ali M, Rahman M, Rahman A, Streatfield PK. Spatial patterns of fetal loss and infant death in an arsenic-affected area in Bangladesh. Int J Health Geogr. 2010 Oct. 26; 9 (53). doi: 10.1186/1476-072X-9-53.
14. Kulldorff M. SaTScan™ Manual do Usuário para versão 10.0. SaTScan. Software for the spatial, temporal, and space-time scan statistics. [acesso em 2025 Nov 20]. Disponível em: https://www.satscan.org/.
15. Ministério da Saúde (BR). Departamento de informática do SUS, 2025. [acesso em 2025 Nov 17]. Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/.
16. Drumond EF, Machado CJ, Vasconcelos MR, França E. Utilização de dados secundários do SIM, Sinasc e SIH na produção científica brasileira de 1990 a 2006. Rev Bras Estud Popul. 2009 Jun; 26 (1): 7-19. doi:10.1590/S0102-30982009000100002.
17. Moon J, Jung I. A simulation study for geographic cluster detection analysis on population-based health survey data

using spatial scan statistics. Int J Health Geogr. 2022 Sep; 21 (1): 11. doi: 10.1186/s12942-022-00311-6.

18. Kulldorff M. A spatial scan statistic. Communications in Statistics: Theory and Methods. 1997; 26: 1481-96.

19. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Malhas Territoriais 2025. [*Internet*]. [acesso em 2025 Nov 17]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html

20. Mendonça MFS, Silva APSC, Lacerda HR. A spatial analysis of co-circulating dengue and chikungunya virus infections during an epidemic in a region of Northeastern Brazil. Spat Spatiotemporal Epidemiol. 2023 Aug; 46: 100589. doi:10.1016/j.sste.2023.100589.

21. Aboushady AT, Mansour F, El Maghraby M, Teixeira B, Cunha S, Dantas MM, *et al*. The use of SatScan software to map spatiotemporal trends and detect disease clusters: a systematic review. Commun Med. 2025 Mar; 5 (1). doi: 10.1038/s43856-024-00699-1.

22. Marques LJP, Silva ZP, Moura BLA, Francisco RPV, Almeida MF. Intra-urban differentials of fetal mortality in clusters of social vulnerability in São Paulo Municipality, Brazil. Sci Rep. 2021 Dec; 11: 24256. doi: 10.1038/s41598-021-03646-5.

23. Pinho Neto V, Machado C, Lima F, Roman S, Dutra, G. Inequalities in the geographic access to delivery services in Brazil. BMC Health Services Research. 2024 Dec; 24 (1598). doi: 10.1186/s12913-024-12042-4.

24. Wariri O, Onuwabuchi E, Alhassan JAK, Dase E, Jalo I, Laima CH, *et al*. The influence of travel time to health facilities on stillbirths: A geospatial case-control analysis of facility-based data in Gombe, Nigeria. PLoS One. 2021 Jan; 16 (1): e0245297. doi: 10.1371/journal.pone.0245297.

25. Yadeta TA, Mengistu B, Gobena T, Regassa LD. Spatial pattern of perinatal mortality and its determinants in Ethiopia: Data from Ethiopian Demographic and Health Survey 2016. PLoS ONE. 2020; 15 (11): e0242499. doi: 10.1371/journal.pone.0242499.

26. Tango T, Takahashi K. A flexibly shaped spatial scan statistic for detecting clusters. Int J Health Geogr. 2005 May; 4 (11). doi: 10.1186/1476-072X-4-11.

27. Besag J, York J, Mollié A. Bayesian image restoration with two applications in spatial statistics. Ann Inst Stat Math. 1991; 43: 1-20. doi: 10.1007/BF00116466.

28. Wood SM, Alston L, Beks H, Mc Namara K, Coffee NT, Clark RA, *et al*. Quality appraisal of spatial epidemiology and health geography research: A scoping review of systematic reviews. Health Place. 2023 Sep; 83: 103108. doi: 10.1016/j.healthplace.2023.103108.

29. Morrison CN, Mair CF, Bates L, Duncan DT, Branas CC, Bushover BR, *et al*. Defining Spatial Epidemiology: A Systematic Review and Re-orientation. Epidemiol. 2024 Jul; 35 (4): 542-55. doi: 10.1097/EDE.0000000000001738.

Recebido em 11 de Dezembro de 2025
Versão final apresentada em 24 Abril de 2026
Aprovado em 11 de Maio de 2026

Editor Associado: Alex Sandro Souza

Tabela Suplementar 1

Pressupostos fundamentais do modelo de Poisson e condições de aplicabilidade relacionadas a mortalidade fetal.

Pressupostos	Condições de aplicabilidade
Independência dos eventos	Assume-se que os eventos ocorrem de forma independente, ou seja, a ocorrência de um óbito fetal não altera a probabilidade de ocorrência de outro dentro da mesma área observada ou em áreas vizinhas.
Homogeneidade intra-área	Considera-se que o risco é constante dentro de cada unidade espacial de análise, de modo que todos os nascimentos possuem a mesma probabilidade de resultar em óbito fetal sob a hipótese nula.
Proporcionalidade entre população e risco	Espera-se que o número de óbitos seja diretamente proporcional ao tamanho da população de nascimentos, implicando distribuição uniforme do risco e ausência de clusters.
Instabilidade das taxas em áreas pequenas	Áreas com pequena população podem apresentar instabilidade nas taxas, pois pequenas variações no número de óbitos possibilitam superestimar a relação entre valores observados e esperados, aumentando a probabilidade de identificação de clusters.