

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

SARA SANTOS DE MELLO

**Dinâmica espacial e espaço-temporal da brucelose e tuberculose bovina
em Santa Catarina: subsídios para a defesa sanitária animal.**

LAGES, SC

SARA SANTOS DE MELLO

**Dinâmica espacial e espaço-temporal da brucelose e tuberculose bovina
em Santa Catarina: subsídios para a defesa sanitária animal.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal. Orientador: Prof. Dr. David Germano Gonçalves Schwarz.

LAGES, SC

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos de Mello, Sara

Dinâmica espacial e espaço-temporal da brucelose e
tuberculose bovina em Santa Catarina: subsídios para a
defesa sanitária animal. / Sara Santos de Mello. – 2026.
69 p.

Orientador: David Germano Gonçalves Schwarz
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages,
2026.

1. brucelose bovina. 2. tuberculose bovina. 3.
epidemiologia espacial. 4. análise espaço-temporal. 5.
vigilância epidemiológica. I. Germano Gonçalves Schwarz,
David. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência Animal. III. Título.

SARA SANTOS DE MELLO

**DINÂMICA ESPACIAL E ESPAÇO-TEMPORAL DA BRUCELOSE E TUBERCULOSE
BOVINA EM SANTA CATARINA: SUBSÍDIOS PARA A DEFESA SANITÁRIA
ANIMAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. David Germano Gonçalves Schwarz

BANCA EXAMINADORA

Prof. David Germano Gonçalves Schwarz
Orientador
Universidade do Estado de Santa Catarina

Dra. Dra. Cristina Perito Cardoso
CIDASC/Lages - SC (membro externo)

Dra. Cláudia Regina Appio Duarte
CIDASC/Correia Pinto - SC (membro externo)

Lages, 31 de julho de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de amparo diante de incertezas, reforçando que não se trilha caminho algum sem amparo. E a fé, não somente a fé religiosa, mas a fé que nos impulsiona quando os resultados tardam.

À minha avó, que trabalhou desde criança na roça e, ainda menina, precisou morar na casa de desconhecidos, trabalhando como empregada doméstica para ter a oportunidade de estudar.

Ao meu pai, que enfrentou uma tripla jornada para concluir o ensino superior e que sempre educou muito mais pelo exemplo do que pelas palavras. Com ele aprendi que o trabalho dignifica, e que o estudo é um dos caminhos mais poderosos para transformar a própria realidade.

À minha mãe, que realizou o sonho de ingressar no ensino superior quando eu tinha 9 anos e que, muitas vezes, me levava para as aulas com ela. Foi ali que, ainda pequena, ouvi pela primeira vez nomes como Vygotsky e Piaget, sem imaginar que aqueles momentos despertavam em mim a curiosidade e o apreço pelo conhecimento que me acompanhariam ao longo da vida.

Esta conquista não começou comigo. Ela é resultado do esforço de gerações que acreditaram na educação como instrumento de transformação. Antes de qualquer professor, foram vocês os meus primeiros educadores. Dedico ela a vocês.

Ao meu companheiro de vida, agradeço pela parceria, escuta e pelos encorajamentos diários que me fortaleceram e me ampararam. Vou guardar com carinho as madrugadas em que você levava comida até o laboratório porque sabia que eu não podia sair de lá, e as garrafas de água que deixava ao meu lado enquanto eu escrevia, porque conhecia bem a minha mania de esquecer até das necessidades mais básicas quando estava completamente concentrada. São esses gestos silenciosos, repetidos tantas vezes ao longo destes anos, que traduzem o cuidado.

Ao meu orientador Prof. Dr. David, expresso minha profunda gratidão por ter me acolhido em um momento particularmente difícil, conduzindo este processo com sensibilidade, leveza e, ao mesmo tempo, com rigor e seriedade

acadêmica. Sua postura ética, humana e profissional foi essencial para transformar desafios em aprendizado. Agradeço também pelo apoio emocional da Frida em todas as nossas reuniões.

Aos professores e colegas que integram o PPGCA, agradeço pelo acolhimento e parceria, pela troca constante de conhecimentos e, sobretudo, pelo senso de humor aguçado. Em meio às exigências e pressões, encontrar pessoas dispostas a estender a mão, ouvir e caminhar juntas tornou esse percurso mais tranquilo.

À Universidade do Estado de Santa Catarina que mais uma vez foi meu lar pelos dois anos consecutivos de pós-graduação.

Ao longo dessa trajetória, desafios e interrupções se fizeram presentes e, como na metáfora consagrada por Carlos Drummond de Andrade, surgiram muitas pedras no caminho. Cada uma delas, no entanto, contribuiu para o amadurecimento deste percurso.

“Tenho apenas duas mãos e o
sentimento do mundo.”

(Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

A brucelose e a tuberculose bovinas são doenças endêmicas que continuam a representar importantes desafios para os programas de saúde animal devido ao seu impacto econômico, relevância zoonótica e persistência nas populações de bovinos. Em regiões onde essas enfermidades ocorrem em baixa prevalência, investigações epidemiológicas baseadas em análises temporais e espaciais podem fornecer informações valiosas para subsidiar estratégias de vigilância e controle. Este estudo teve como objetivo avaliar as tendências temporais, a distribuição espacial e os conglomerados espaço-temporais da brucelose e da tuberculose bovinas no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025. Casos confirmados notificados pelo serviço veterinário oficial foram obtidos junto à Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC), enquanto dados da população bovina foram utilizados para estimar as taxas anuais de incidência por 10.000 animais. As tendências temporais foram analisadas por meio da regressão Joinpoint, a distribuição espacial foi avaliada por mapas temáticos elaborados no software QGIS e os conglomerados espaço-temporais foram identificados utilizando o modelo discreto de Poisson implementado no software SaTScan. Os resultados demonstraram padrões epidemiológicos heterogêneos para ambas as doenças, com municípios apresentando tendências crescentes, decrescentes ou estáveis de incidência ao longo do período estudado. Foram identificados conglomerados espaço-temporais significativos de alto risco para a brucelose e a tuberculose bovinas. A tuberculose apresentou maior número de conglomerados estatisticamente significativos, indicando uma distribuição mais fragmentada da ocorrência da doença, enquanto a brucelose foi caracterizada por conglomerados de maior extensão geográfica e maior duração temporal. De forma geral, o estudo fornece uma caracterização abrangente do comportamento epidemiológico de ambas as enfermidades em Santa Catarina e contribui para o entendimento de sua dinâmica espacial e temporal, fornecendo evidências para subsidiar estratégias de vigilância, controle e erradicação em regiões de baixa prevalência.

Palavras-chave: brucelose bovina; tuberculose bovina; epidemiologia espacial; análise espaço-temporal; vigilância epidemiológica.

ABSTRACT

Bovine brucellosis and tuberculosis are endemic diseases that continue to pose important challenges to animal health programs due to their economic impact, zoonotic relevance, and persistence in livestock populations. In regions where these diseases occur at low prevalence, epidemiological investigations based on temporal and spatial analyses can provide valuable information to support surveillance and control strategies. This study aimed to evaluate the temporal trends, spatial distribution, and spatiotemporal clustering of bovine brucellosis and tuberculosis in the state of Santa Catarina, Brazil, from 2016 to 2025. Confirmed cases reported by the official veterinary service were obtained from the Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC), and bovine population data were used to estimate annual incidence rates per 10,000 animals. Temporal trends were analyzed using Joinpoint regression, spatial distribution was assessed through thematic maps developed in QGIS, and spatiotemporal clusters were identified using the discrete Poisson model implemented in SaTScan. The results demonstrated heterogeneous epidemiological patterns for both diseases, with municipalities showing increasing, decreasing, or stable incidence trends throughout the study period. Significant high-risk spatiotemporal clusters were identified for bovine brucellosis and tuberculosis. Tuberculosis presented a greater number of statistically significant clusters, indicating a more fragmented distribution of disease occurrence, whereas brucellosis was characterized by larger clusters extending over broader geographic areas and longer time intervals. Overall, the study provides a comprehensive characterization of the epidemiological behavior of both diseases in Santa Catarina and contributes to the understanding of their spatial and temporal dynamics, providing evidence to support surveillance, control, and eradication strategies in low-prevalence regions.

Keywords: bovine brucellosis; bovine tuberculosis; spatial epidemiology; spatiotemporal analysis; disease surveillance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão do estado de Santa Catarina em mesorregiões geográficas.....10

Figura 2 – Procedimento de realização do Teste Cervical Comparativo (TCC) em bovinos.....24

Artigo

Figura 1 - Localização geográfica do estado de Santa Catarina no Brasil e na América do Sul (A) e distribuição das mesorregiões no estado (B).....41

Figura 2 - Distribuição espacial da população bovina (A), total de casos confirmados de brucelose bovina (B), risco de incidência da brucelose bovina por 10.000 bovinos (C), total de casos confirmados de tuberculose bovina (D) e risco de incidência da tuberculose bovina por 10.000 bovinos (E) no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025.....45

Figura 3 - Distribuição espacial do risco anual de incidência da brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, no período de 2016 a 2025.....46

Figura 4 – Distribuição espacial do risco anual de incidência da tuberculose bovina em Santa Catarina, Brasil (2016–2025)47

Figura 5 - Distribuição mensal dos casos confirmados de brucelose bovina e tuberculose bovina em Santa Catarina, Sul do Brasil, no período de 2016 a 2025.....48

Figura 6 - Heatmaps da distribuição dos casos de brucelose bovina nas mesorregiões de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025, segundo os meses do ano. (A) Risco de incidência (casos por 10.000 bovinos). (B) Número total de casos confirmados.....49

Figura 7 - Heatmaps da distribuição dos casos de tuberculose bovina nas mesorregiões de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025, segundo os meses do ano. (A) Risco de incidência (casos por 10.000 bovinos). (B) Número total de casos confirmados.....51

Figura 8 – Clusters espaço-temporais de brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025.....53

Figura 9 - Clusters espaço-temporais da tuberculose bovina no estado de Santa Catarina, Brasil, no período de 2016 a 2025.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Clusters espaço-temporais de brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025.....	51
Tabela 2 – Clusters espaço-temporais de tuberculose brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025.....	52-53
Tabela 3 – Análise de regressão Joinpoint das tendências temporais do risco de incidência da brucelose bovina (por 10.000 bovinos) no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025	55-56
Tabela 4 – Análise de regressão Joinpoint das tendências temporais do risco de incidência da tuberculose bovina (por 10.000 bovinos) no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025	56-57

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

2-ME	2-Mercaptoetanol
AAT	Antígeno Acidificado Tamponado
APC	Annual Percent Change
B19	Vacina Brucella abortus cepa B19
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CIDASC	Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola
DEDSA	Departamento Estadual de Defesa Sanitária Animal
DIDAG	Diretoria de Defesa Agropecuária
ELISA	Ensaio Imunoenzimático
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural
EPAGRI/Cepa	Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola da Epagri
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FC	Fixação Complemento
FPA	Polarização Fluorescente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFN- γ	Interferon-gama
IN	Instrução Normativa
LLR	Log-Likelihood Ratio
MAPA	Ministério de Agricultura e Pecuária
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PNCEB	Programa Nacional de Controle e Erradicação de Brucelose e
QGIS	Quantum Geographic Information System
RB51	Vacina Brucella abortus cepa RB51
RR	Risco Relativo
SAR	Secretaria de Estado da Agricultura, Pesca e Desenvolvimento Rural
SaTScan	Spatial and Temporal Scan Statistics
SC	Santa Catarina
TCC	Teste Cervical Comparativo
TCS	Teste Cervical Simples
TPC	Teste da Prega Caudal
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

WHO

World Health Organization

WOAH

World Organization for Animal Health

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	Perfil produtivo da bovinocultura em Santa Catarina	10
2.1.1	Índices de produção, agropecuária, cultura, abate	11
2.2	CIDASC	12
2.3	Brucelose bovina	13
2.3.1.	Relevância clínica para epidemiologia	14
2.3.2	Transmissão	15
2.3.3	Diagnóstico no âmbito do PNCEBT	16
2.3.4	Controle e vacinação	18
2.4	Tuberculose bovina	19
2.4.1	Relevância clínica para epidemiologia	20
2.4.2	Transmissão	22
2.4.3	Diagnóstico no âmbito do PNCEBT	23
2.4.4	Controle e saneamento	26
3	REFERÊNCIAS	28
4	OBJETIVOS	35
4.1	Objetivos gerais	35
4.2	Objetivos específicos	35
5	ARTIGO CIENTÍFICO	35
5.1	Introdução	36
5.2	Materiais e métodos	39
5.2.1	Delineamento do estudo e Coleta de dados	39
5.2.2	Distribuição descritiva e análise espacial	41
5.3	Resultados	43
5.4	Discussão	59
5.5	Conclusão	64
	Referências	65

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura representa uma das principais atividades pecuárias em escala mundial, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar, na economia e no comércio internacional de animais e produtos de origem animal (FAO, 2022). De acordo com a World Trade Organization (WTO, 1994), as medidas sanitárias e fitossanitárias adotadas pelos países devem ser fundamentadas em princípios científicos e em avaliação de risco. Nesse contexto, a manutenção da sanidade dos rebanhos constitui um ponto central para a sustentabilidade da produção e para o atendimento aos requisitos sanitários estabelecidos pelos mercados importadores, sendo a certificação sanitária oficial e a habilitação de estabelecimentos exportadores instrumentos essenciais para garantir a conformidade com as exigências internacionais (BRASIL, 2021).

Entre as enfermidades de maior importância para a cadeia produtiva destacam-se a brucelose e a tuberculose bovina, reconhecidas pela World Organisation for Animal Health (WOAH) como doenças de notificação obrigatória em razão de seus impactos sobre a saúde animal, saúde pública, produção pecuária e comércio internacional. A WOAH estabelece diretrizes para vigilância, diagnóstico, prevenção e controle dessas enfermidades promovendo a harmonização das medidas sanitárias entre os países membros (WOAH, 2024).

Essas enfermidades apresentam caráter predominantemente crônico e cursam de forma subclínica nos rebanhos, dificultando a identificação precoce dos focos e favorecendo sua persistência. A transmissão da brucelose ocorre principalmente pelo contato com secreções e materiais provenientes de abortos, enquanto a tuberculose bovina é transmitida sobretudo pela via respiratória, além do consumo de produtos de origem animal contaminados, especialmente leite cru (ALLEN et al., 2021; RADOSTITS et al., 2010). A evolução crônica e frequentemente representa um fator central na manutenção dessas doenças nos sistemas produtivos (IDREES et al., 2024; WILLGERT et al., 2025).

No Brasil, o enfrentamento da brucelose e da tuberculose bovina é conduzido por meio do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose Animal (PNCEBT), instituído pelo Ministério de

Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece diretrizes para vigilância, diagnóstico, controle do trânsito animal e certificação de propriedades (BRASIL, 2017; BRASIL, 2025). Apesar dos avanços observados desde sua implementação, a persistência de focos em diferentes estados evidencia que essas enfermidades ainda representam um desafio sanitário importante, demandando estratégias públicas baseadas em análises epidemiológicas mais robustas.

Nesse contexto, estudos epidemiológicos com abordagem espacial, temporal e espaço temporal têm se mostrado ferramentas úteis e necessárias para compreender a dinâmica de ocorrência dessas doenças (BAPTISTA et al., 2021; COSTA et. al. 2024; RIBEIRO et al., 2020; SCHWARZ et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2022). A identificação de padrões de distribuição, tendências temporais e conglomerados de risco permite subsidiar a tomada de decisão pelos serviços de defesa sanitária animal (ROBERTSON et. al., 2010)

Santa Catarina destaca-se no cenário nacional pela atuação estruturada da defesa sanitária animal, coordenada pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola (CIDASC), sendo classificada como risco “A” para brucelose e tuberculose bovina (BRASIL, 2025). Além das diretrizes estabelecidas pelo PNCEBT, Santa Catarina implementou medidas complementares de vigilância, como a adoção do teste sorológico ELISA no saneamento de focos de tuberculose (Portaria SAR nº 32/2020), a obrigatoriedade do monitoramento sanitário em propriedades leiteiras (Portaria SAR nº 44/2020) e a operacionalização do calendário estadual de testagem dos rebanhos por meio da Instrução Normativa DIDAG nº 01/2023, reforçando as ações de vigilância em um cenário de baixa prevalência (SANTA CATARINA, 2020a; SANTA CATARINA, 2020b; SANTA CATARINA, 2023). Apesar dos avanços alcançados pelos programas de vigilância e controle, a baixa prevalência observada em nível estadual não implica distribuição homogênea das enfermidades. Santa Catarina apresenta elevada diversidade nos sistemas de produção bovina, com diferenças regionais quanto à aptidão produtiva, densidade dos rebanhos, manejo e movimentação animal (EPAGRI/CEPA, 2024), características que podem influenciar a dinâmica epidemiológica da brucelose e da tuberculose bovina. Em cenários próximos à erradicação, a transmissão tende a persistir em focos residuais espacial e temporalmente delimitados, influenciados por características

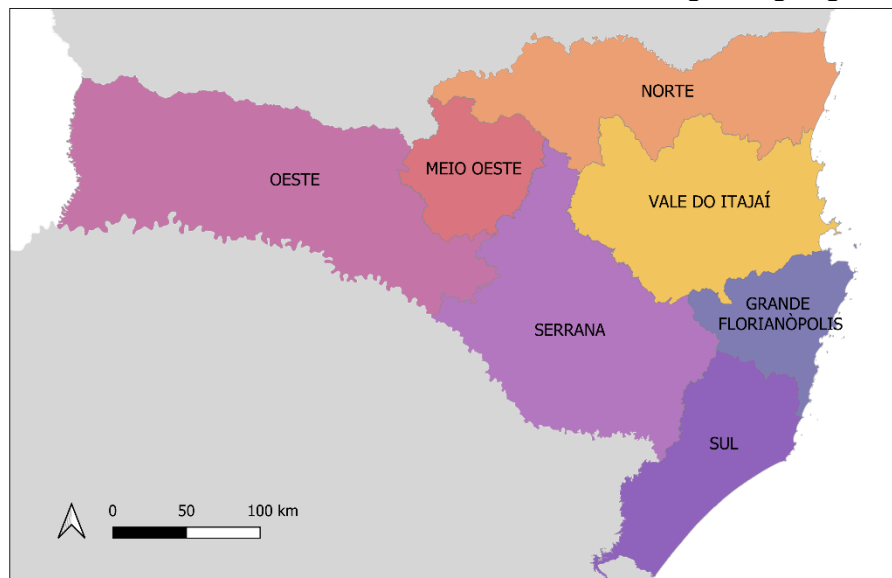
produtivas, movimentação animal, densidade dos rebanhos e heterogeneidade regional (FERREIRA NETO, 2018). Sob essa perspectiva, análises espaciais, temporais e espaço-temporais tornam-se essenciais para identificar áreas prioritárias, compreender a dinâmica epidemiológica (ABOUSHADY et al., 2025; LIU et al., 2018; MILNE et al., 2019) e subsidiar estratégias de vigilância baseada em risco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Perfil produtivo da bovinocultura em Santa Catarina

O estado de Santa Catarina está localizado na Região Sul do Brasil, possui área territorial de aproximadamente 95.730 km² e é composto por 295 municípios (IBGE, 2025). Caracteriza-se pelas condições edafoclimáticas (THOMÉ et al, 1999), elevada tecnificação da produção agropecuária e predominância de propriedades rurais de base familiar, fatores que contribuíram para consolidar o estado como um dos principais polos do agronegócio nacional. A agropecuária catarinense destaca-se pela elevada produtividade e pela expressiva participação na produção de proteínas animais, especialmente nas cadeias de bovinos, suínos e aves, além da relevante produção leiteira, desempenhando papel estratégico na economia estadual e no abastecimento dos mercados interno e externo (EPAGRI/Cepa, 2021; EPAGRI/Cepa, 2025).

Figura 1 - Divisão do estado de Santa Catarina em mesorregiões geográficas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2026.

2.1.1 Índices de produção, agropecuária, cultura, abate

A bovinocultura desempenha papel relevante no agronegócio catarinense, tanto pela produção de carne quanto de leite. Em 2020, Santa Catarina contava com aproximadamente 35,11 mil produtores de bovinos destinados ao abate, além de 5,69 mil avicultores e 7,32 mil suinocultores que comercializavam animais para abate, evidenciando a importância da pecuária na estrutura produtiva do estado (EPAGRI/Cepa, 2021). Quanto as exportações, os produtos de origem animal representaram 2,73% da participação do agronegócio brasileiro e corresponderam a 1,91% do total das exportações nacionais em 2020. Especificamente, a carne bovina respondeu por 0,17% do agronegócio brasileiro e por 0,12% do total das exportações do país no mesmo período (EPAGRI/Cepa, 2021).

A produção leiteira também se destaca no estado. Em 2019, Santa Catarina produziu 3,04 bilhões de litros de leite, correspondendo a 8,7% da produção nacional, consolidando-se entre os principais estados produtores do Brasil (IBGE, 2019).

A distribuição do rebanho bovino catarinense apresenta importante heterogeneidade entre as mesorregiões. Em 2020, o Oeste Catarinense concentrou o maior efetivo, com 2,12 milhões de cabeças, correspondendo a 47,0% do rebanho estadual. Em seguida, destacaram-se a mesorregião Serrana, com 816,0 mil cabeças (18,1%), o Sul Catarinense, com 587,3 mil cabeças (13,0%), o Vale do Itajaí, com 446,7 mil cabeças (9,9%), o Norte Catarinense, com 312,2 mil cabeças (6,9%) e a Grande Florianópolis, com 211,3 mil cabeças (4,7%). No total, o estado possuía aproximadamente 4,51 milhões de bovinos em 2020 (EPAGRI/Cepa, 2021), ocupando a posição 13ª no Brasil até então (IBGE, 2020).

Os dados mais recentes evidenciam a continuidade da expansão da bovinocultura em Santa Catarina. Em 2024, foram registrados 2.880.934 bovinos destinados ao abate, enquanto a produção de leite alcançou 8.261.820 mil litros, demonstrando a relevância econômica tanto da pecuária de corte quanto da atividade leiteira no estado (EPAGRI/Cepa, 2025).

A bovinocultura de corte também apresenta tendência de fortalecimento dentro das cadeias produtivas do agronegócio catarinense. Embora tenha sido observada redução no valor bruto da produção em 2023, decorrente da queda nos preços da arroba bovina e da diminuição do número de animais abatidos, os indicadores do final de 2024 apontam um processo de recuperação, caracterizado

pela retomada dos preços e pelo aumento dos volumes de abate, sinalizando perspectivas favoráveis para o setor (BRASIL, 2025; EPAGRI/Cepa, 2025).

2.2 CIDASC

A Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC) é uma empresa pública vinculada ao Governo do Estado de Santa Catarina, criada pela Lei Estadual nº 5.516, art. 79 de 28 de fevereiro de 1979, com a finalidade de executar as ações oficiais de defesa agropecuária no estado. Posteriormente, o referido artigo foi alterado pela Lei nº 6.431, de 25 de outubro de 1984, que redefiniu e ampliou as competências da CIDASC, atribuindo-lhe a execução das ações oficiais de defesa sanitária animal e vegetal (SANTA CATARINA, 1979; SANTA CATARINA, 1986). Compete à CIDASC executar as ações de defesa sanitária animal e vegetal, assegurando a manutenção do Serviço de Inspeção Estadual (SIE) por meio do registro de estabelecimentos e de seus produtos, bem como da fiscalização da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal realizada por médicos-veterinários habilitados pela Companhia (SANTA CATARINA, 2019).

Também é de sua competência promover, apoiar e executar mecanismos relacionados ao armazenamento, abastecimento e comercialização de produtos de origem animal e vegetal, seus subprodutos, insumos e resíduos. Além disso, a CIDASC é responsável pela fiscalização, padronização, certificação e classificação de produtos de origem vegetal e de seus derivados, pela prestação de serviços laboratoriais destinados à análise de resíduos tóxicos, controle de qualidade e demais exames relacionados à produção e comercialização agropecuária. Cabe ainda à Companhia estabelecer critérios para o credenciamento, reconhecimento, ampliação das atividades e monitoramento de laboratórios vinculados às suas atribuições, bem como fiscalizar a execução dessas atividades. Entre suas competências também se inclui o desenvolvimento das atividades de operador portuário no Terminal Graneleiro de São Francisco do Sul. Desde o dia 1º de dezembro de 2019, o Terminal Graneleiro de São Francisco do Sul, até então operado pela CIDASC, passou a ser administrado pela SCPar Porto de São Francisco do Sul.

contribuindo para a logística e o escoamento da produção agropecuária catarinense (SANTA CATARINA, 2019). Lembrar que SC é o único estado com

um sistema de identificação oficial individual de bovinos e bubalinos, o SISBOV. Isso contribui para a rastreabilidade animal, prevenção e controle das doenças infecciosas nos rebanhos.

2.3 Brucelose bovina

Os membros do gênero *Brucella* são bactérias patogênicas de humanos e animais, altamente adaptadas aos seus hospedeiros e com limitada capacidade de sobrevivência no ambiente externo (GORVEL; MORENO, 2002). Uma das principais características do gênero é a habilidade de multiplicação e sobrevivência intracelular, principalmente em macrófagos (CARVALHO et al., 2023)., facilitando o desenvolvimento de infecções crônicas e eliminação intermitente do agente, o que contribui para o estabelecimento de infecções persistentes.

A brucelose bovina é uma enfermidade infecciosa crônica, causada predominantemente por *Brucella abortus*, um cocobacilo pequeno, Gram-negativo, não esporulado, aeróbio e intracelular facultativo com tropismo por células mononucleares do sistema fagocítico e tecidos reprodutivos (CARVALHO et al., 2023). Apesar de *B. abortus* representar o principal agente em bovinos, *Brucella melitensis* e *Brucella suis* podem ocasionalmente infectar os bovinos (GODFROID, et al., 2011; KHURANA et al., 2021), em condições da movimentação animal intensa e de sistemas de produção de rebanhos multi-espécies e áreas endêmicas compartilhadas.

A manifestação clínica da doença em bovinos é fortemente associada a fase final gestacional, período em que a placenta representa um sítio privilegiado para replicação bacteriana devido ao eritritol (LETESSON, 2017), culminando em uma resposta inflamatória.

A brucelose bovina apresenta distribuição espacial e temporal heterogênea, refletindo diferenças nos sistemas de produção, nível de desenvolvimento socioeconômico, efetividade dos programas de controle e dos serviços veterinários em cada país (WOAH, 2024). Globalmente, a enfermidade encontra-se erradicada ou sob controle em alguns países da América do Norte, Europa Ocidental, Austrália e Nova Zelândia. Ademais, a brucelose bovina permanece endêmica em amplas regiões da América Latina, Ásia e África, onde fatores como sistemas de produção extensivos, criação de múltiplas espécies,

movimentação animal, restrições econômicas, dificultam e fragilizam a vigilância sanitária e a erradicação da doença (CORBEL, 2006). Nessas regiões, a persistência da infecção está associada à manutenção de reservatórios animais e a detecção tardia de casos.

No Brasil, a doença é considerada endêmica com distribuição desigual entre estados e municípios. Estudos epidemiológicos demonstram que a prevalência varia de acordo com fatores regionais, incluindo tipo de exploração pecuária, tamanho dos rebanhos, dinâmica da movimentação animal e histórico de implementação das ações previstas no PNCEBT (BRASIL, 2017). Essa variabilidade espacial reforça a necessidade de análises regionais e locais direcionadas.

Do ponto de vista temporal, a ocorrência da enfermidade tende a apresentar padrões persistentes em áreas endêmicas, principalmente quando as cadeias de transmissão não são interrompidas por medidas efetivas de controle. Entretanto, a evolução temporal pode variar entre regiões em função da intensidade das ações sanitárias, das características dos sistemas produtivos e da dinâmica de movimentação animal, reforçando a importância de análises epidemiológicas integradas para compreender a distribuição da doença em diferentes escalas espaciais.

2.3.1. Relevância clínica para epidemiologia

No contexto da produção bovina, a brucelose está classicamente associada a distúrbios reprodutivos (RADOSTITS et al., 2007), incluindo abortamentos, natimortalidade, retenção de placenta, metrite e redução da fertilidade. Em machos, podem ocorrer orquite, epididimite e, ocasionalmente, infertilidade (CORBEL, 2006).

A patogênese dessas alterações está relacionada ao elevado tropismo de *Brucella abortus* pelo trofoblasto placentário, onde sua multiplicação intracelular desencadeia intensa resposta inflamatória, placentite e danos aos tecidos placentários, culminando em abortamento e na eliminação de elevadas cargas bacterianas para o ambiente (XIAO et al., 2022). Como consequência, fetos abortados, placentas e secreções uterinas passam a conter elevadas concentrações bacterianas, constituindo as principais fontes de infecção para animais suscetíveis e favorecendo a manutenção da doença no rebanho

(LETESSON et al., 2017; WOA, 2024). Embora as manifestações clínicas resultem em importantes perdas econômicas decorrentes da redução da eficiência reprodutiva, do descarte precoce de animais e da diminuição da produtividade, sua principal relevância epidemiológica está relacionada à intensa eliminação de *B. abortus* durante o aborto e o parto.

Além disso, uma parcela dos animais infectados pode permanecer assintomática ou apresentar infecção subclínica, eliminando o agente de forma intermitente e dificultando sua identificação precoce pelos programas de vigilância. Essa característica favorece a persistência silenciosa da enfermidade nos rebanhos e contribui para sua disseminação entre propriedades, especialmente por meio da movimentação de animais infectados (CORBEL, 2006; LETESSON et al., 2017).

A brucelose bovina extrapola os prejuízos observados na produção animal (FERREIRA NETO, 2018). Por tratar-se de uma zoonose amplamente distribuída, a presença de animais infectados representa uma fonte contínua de exposição humana, principalmente em populações ocupacionalmente expostas e em regiões onde o consumo de produtos lácteos não pasteurizados ainda é frequente (GODFROID et al., 2011; CORBEL, 2006). Consequentemente, a ocorrência da doença em rebanhos reflete um risco compartilhado entre saúde animal e saúde pública, reforçando o papel dos programas de vigilância epidemiológica como estratégia essencial para interromper a transmissão na interface animal-homem e reduzir o impacto da enfermidade sob a perspectiva de One Health (WOA, 2024).

2.3.2 Transmissão

A principal via de transmissão da brucelose bovina é o contato direto ou indireto com materiais contaminados de origem reprodutiva, especialmente placenta, líquidos fetais, fetos abortados, secreções uterinas que apresentam elevada carga bacteriana (XIAO et al., 2022; KHAIRULLAH et al., 2024). O agente também é eliminado pelo leite e colostro, constituindo importante fonte de infecção para bezeros intra-rebanho e via de transmissão zoonótica através do consumo de produtos lácteos não pasteurizados (CORBEL, 2006; KHAIRULLAH et al., 2024).

Embora a transmissão horizontal represente a principal via de disseminação da enfermidade, a transmissão vertical também pode ocorrer.

Bezerros provenientes de vacas infectadas podem nascer infectados ou adquirir a infecção pela ingestão de colostro e leite contaminados, permanecendo assintomáticos durante longos períodos até atingirem a maturidade sexual (ACHA; SZYFRES, 2001). Dessa forma, animais podem introduzir ou contribuir para a manutenção da infecção nos rebanhos caso não sejam identificados pelos programas de vigilância.

A infecção ocorre predominantemente por ingestão ou contato com as mucosas, podendo também ocorrer por aerossóis em ambientes confinados ou situações ocupacionais específicas, como abatedouros. Nessas condições, rebanhos de maior tamanho podem apresentar maior risco de disseminação da enfermidade em decorrência do aumento da frequência de contato entre animais infectados e suscetíveis (COWIE et al., 2014).

Ademais, diversos fatores de manejo também favorecem a introdução e disseminação, incluindo o descarte inadequado de fetos abortados e placentas, uso compartilhado de áreas de parto (ROCHA et al., 2024), introdução de animais sem testes sanitários prévios, ausência de quarentena (para brucelose e tuberculose pouco efetivo, pois geralmente é assintomático), uso comum de pastagens e fontes de água, além do contato entre bovinos e outras espécies suscetíveis, especialmente pequenos ruminantes (GODFROID et al., 2021). Esses fatores influenciam diretamente a pressão de infecção no rebanho, determinada pela proporção de animais infectados, pela intensidade da eliminação de *Brucella abortus* para o ambiente e pela frequência de exposição dos animais suscetíveis. Consequentemente, rebanhos com elevada densidade animal e deficiências nas medidas de biossegurança apresentam maior probabilidade de manutenção da infecção e ocorrência de novos casos (CORBEL, 2006; DEKA et al., 2018).

2.3.3 Diagnóstico no âmbito do PNCEBT

As ações de vigilância, controle e erradicação da brucelose bovina e bubalina no Brasil são conduzidas no âmbito do PNCEBT, instituído em 2001 e atualmente regulamentado pela Instrução Normativa MAPA nº 10, de 3 de março de 2017, que estabelece os critérios técnicos para diagnóstico, certificação de propriedades, controle do trânsito animal, saneamento de focos e execução das ações oficiais de defesa sanitária animal (BRASIL, 2017). O regulamento padroniza os procedimentos diagnósticos em todo o território nacional,

assegurando maior confiabilidade aos programas de vigilância epidemiológica e comparabilidade entre as diferentes unidades da federação.

No âmbito do PNCEBT, o diagnóstico da brucelose baseia-se predominantemente em métodos sorológicos, organizados em testes de triagem e testes confirmatórios, empregados conforme a finalidade da investigação, incluindo vigilância epidemiológica, certificação de propriedades, monitoramento sanitário, controle da movimentação animal e saneamento de focos (BRASIL, 2017). A escolha da estratégia diagnóstica deve considerar fatores como o objetivo da testagem, a prevalência da enfermidade na população, o histórico vacinal dos animais e as características operacionais do programa. Além disso, parâmetros como sensibilidade, especificidade, valores preditivos e a possibilidade de interferência de anticorpos vacinais devem ser considerados na interpretação dos resultados, sendo frequente a utilização de protocolos de testagem em série para aumentar a especificidade diagnóstica.

A Instrução Normativa MAPA nº 10/2017 estabelece o Antígeno Acidificado Tamponado (AAT) como teste oficial de triagem, devido à sua elevada sensibilidade, baixo custo operacional e facilidade de execução por médicos-veterinários habilitados pelo PNCEBT. Para confirmação sorológica, o regulamento prevê os testes de 2-Mercaptoetanol (2-ME), Polarização Fluorescente (FPA) e Fixação de Complemento (FC), cuja realização é restrita a laboratórios integrantes da Rede Nacional de Laboratórios Agropecuários ou oficialmente credenciados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2017).

Embora todos sejam reconhecidos como testes confirmatórios pelo PNCEBT, esses métodos diferem quanto aos princípios imunológicos empregados e ao desempenho diagnóstico. O teste do 2-Mercaptoetanol baseia-se na diferenciação das classes de imunoglobulinas, permitindo maior especificidade em relação ao teste de triagem. A Polarização Fluorescente (FPA) destaca-se pela elevada sensibilidade, especificidade e reprodutibilidade, além de apresentar rápida execução e menor subjetividade na interpretação dos resultados, características que justificam seu reconhecimento pela World Organisation for Animal Health (WOAH) como um dos principais métodos sorológicos para diagnóstico da brucelose. Já a Fixação de Complemento (FC)

permanece como um teste de elevada especificidade, amplamente utilizado em programas internacionais de certificação sanitária e comércio de animais.

Uma vez que diferenças na sensibilidade, especificidade e nos protocolos de testagem podem influenciar diretamente as estimativas de prevalência e incidência, bem como a identificação de focos e a comparação de indicadores entre regiões e ao longo do tempo, a padronização dos métodos diagnósticos torna-se extremamente necessária. Dessa forma, a utilização dos testes oficialmente reconhecidos pelo PNCEBT contribui para aumentar a confiabilidade das informações epidemiológicas empregadas.

2.3.4 Controle e vacinação

O controle da brucelose bovina acopla estratégias combinadas que incluem vacinação, controle da movimentação animal, testagem e eliminação e saneamento de positivos e adoção de medidas sanitárias adequadas durante eventos reprodutivos, visando minimizar o risco zoonótico e a circulação do agente nos rebanhos. No Brasil, o PNCEBT estabelece vacinação obrigatória de fêmeas bovinas e bubalinas entre 3 e 8 meses com vacina viva liofilizada B19/S19.

As vacinas mais utilizadas mundialmente em bovinos são as cepas *Brucella abortus* B19 e RB51, cuja aplicação varia conforme contexto epidemiológico, objetivos e as exigências sanitárias para comércio.

A vacina B19 é uma cepa com LPS completo, mas apesar da sua eficácia na redução de abortos e na diminuição da prevalência em programas sanitários, pode induzir anticorpos aglutinantes que interferem em testes sorológicos convencionais, razão pelo qual o PNCEBT restringe à faixa etária indicada e exige marcação e identificação das fêmeas vacinadas. Como alternativa, o PNCEBT prevê que a B19 pode ser substituída na espécie bovina pela vacina RB51, denominada como vacina não indutora da formação de anticorpos aglutinantes (VNIAA). A RB51 é uma cepa desenvolvida justamente para reduzir a interferência sorológica, sendo útil em contextos em que a vacinação na idade recomendada não foi realizada.

Em consonância com as diretrizes internacionais, organismos como a WOA e a FAO (WOAH, 2024) enfatizam que a vacinação (quando aplicável) deve ser combinada com vigilância e controle de movimentação, padronização diagnóstica e medidas de biossegurança, com vistas a reduzir a disseminação do

agente, proteger a saúde humana e apoiar a harmonização sanitária associada ao comércio e ao reconhecimento de status sanitário.

No caso de Santa Catarina, as estratégias de controle foram fortalecidas por normativas complementares ao PNCEBT. A Instrução de Serviço DEDSA nº 007/2018 regulamentou a utilização da vacina RB51, Lembrando que em SC é proibido o uso, comércio e armazenamento da B19. Portaria SAR 17/2012 autorizando sua aplicação em situações específicas, como propriedades com foco de brucelose, estabelecimentos com vínculo epidemiológico e animais destinados à comercialização interestadual, mediante autorização do serviço veterinário oficial (SANTA CATARINA, 2018). Paralelamente, a Portaria SAR nº 44/2020 instituiu a obrigatoriedade do monitoramento anual da brucelose em propriedades fornecedoras de leite, por meio da realização de exames em amostras provenientes da ordenha completa do rebanho, além da exigência de testes negativos para animais introduzidos nessas propriedades (SANTA CATARINA, 2020a).

Diferentemente de estratégias baseadas apenas na notificação de suspeitas clínicas, o modelo adotado em Santa Catarina prioriza a vigilância ativa dos rebanhos leiteiros, permitindo a detecção de animais infectados independentemente da ocorrência de sinais clínicos ou de eventos reprodutivos. Essa abordagem é particularmente importante em cenários de baixa prevalência, nos quais a elevada frequência de infecções subclínicas pode dificultar a identificação dos focos apenas por vigilância passiva.

2.4 Tuberculose bovina

A tuberculose bovina caracteriza-se por uma evolução predominantemente crônica, frequentemente assintomática nas fases iniciais da infecção, o que dificulta sua detecção precoce e favorece a permanência de animais infectados nos rebanhos por longos períodos (THOEN et al., 2006; WOA, 2024). Quando presentes, os sinais clínicos geralmente incluem emagrecimento progressivo, redução da produção leiteira, tosse crônica, linfadenomegalia e, em casos avançados, dispneia e caquexia (RADOSTITS et al., 2007). Entretanto, muitos animais permanecem clinicamente sadios durante grande parte da infecção, tornando-se importantes fontes de disseminação do agente.

Além dos impactos sobre a produção animal, a tuberculose bovina representa uma importante zoonose de distribuição mundial.

A infecção humana por *Mycobacterium bovis* ocorre principalmente pelo consumo de leite cru e produtos lácteos não pasteurizados provenientes de animais infectados, embora a exposição ocupacional de médicos-veterinários, produtores rurais, trabalhadores de frigoríficos e laboratórios também constitua uma importante via de infecção (THOEN et al., 2006; WOA, 2024). Embora a tuberculose humana causada por *M. bovis* possa ser tratada com esquemas terapêuticos específicos, seu manejo apresenta particularidades importantes, uma vez que essa espécie é naturalmente resistente à pirazinamida, um dos fármacos de primeira linha utilizados no tratamento da tuberculose causada por *Mycobacterium tuberculosis*, exigindo adequações no protocolo terapêutico (WHO, 2023). Em contrapartida, o tratamento de bovinos infectados não é permitido nos programas oficiais de defesa sanitária, sendo o controle baseado na identificação e eliminação sanitária dos animais positivos, associadas às medidas de vigilância, biossegurança e controle da movimentação animal (BRASIL, 2017; WOA, 2024).

2.4.1 Relevância clínica para epidemiologia

A tuberculose bovina caracteriza-se por evolução lenta e progressiva, apresentando longo período de incubação e elevada frequência de infecções subclínicas, especialmente nos estágios iniciais da doença (THOEN et al., 2006; WOA, 2024). Os sinais clínicos geralmente são inespecíficos e tendem a manifestar-se apenas em fases avançadas da infecção, incluindo emagrecimento progressivo, redução da produção leiteira, tosse crônica, dispneia, linfadenomegalia e caquexia (RADOSTITS et al., 2007). Em decorrência dessa evolução silenciosa, muitos animais permanecem produtivos por longos períodos, dificultando a identificação precoce da enfermidade e favorecendo sua permanência nos rebanhos (WILLGERT et al., 2025; WISEMAN et al., 2024).

A patogênese da tuberculose bovina está intimamente relacionada à capacidade de *Mycobacterium bovis* sobreviver e multiplicar-se no interior de macrófagos, induzindo a formação de granulomas, lesões características que representam a principal resposta do hospedeiro para conter a infecção (THOEN et al., 2006; PALMER, 2007). Entretanto, apesar de restringirem a disseminação

do agente, essas estruturas também dificultam sua completa eliminação pelo sistema imunológico, permitindo que animais permaneçam infectados durante meses ou anos. Essa característica explica a evolução crônica da enfermidade e a elevada frequência de infecções subclínicas, nas quais os animais podem permanecer aparentemente saudáveis por longos períodos, tornando-se importantes fontes de infecção antes mesmo da manifestação de sinais clínicos evidentes, como emagrecimento progressivo, queda na produção leiteira, tosse crônica e dispneia (WOAH, 2024)

Sob a perspectiva epidemiológica, a principal relevância clínica da tuberculose bovina está relacionada à persistência de animais infectados como fontes contínuas de infecção. Dependendo da localização das lesões, *Mycobacterium bovis* pode ser eliminado principalmente por secreções respiratórias, além de leite, fezes, urina e secreções genitais, permitindo a disseminação do agente antes mesmo da manifestação de sinais clínicos evidentes (THOEN et al., 2006; WOAH, 2024). Essa característica favorece a manutenção de cadeias silenciosas de transmissão, especialmente em rebanhos submetidos à elevada densidade animal e movimentação frequente de bovinos.

Além das repercussões na produção pecuária, a tuberculose bovina constitui uma importante zoonose causada por *Mycobacterium bovis*, integrante do complexo *Mycobacterium tuberculosis*. A infecção humana ocorre principalmente pelo consumo de leite cru e derivados não pasteurizados provenientes de animais infectados, bem como pela exposição ocupacional de médicos-veterinários, produtores rurais, trabalhadores de frigoríficos e laboratórios (THOEN et al., 2006). Embora a tuberculose causada por *M. bovis* possa ser tratada em humanos, essa espécie apresenta resistência intrínseca à pirazinamida, exigindo adequações no esquema terapêutico recomendado para a tuberculose (WHO, 2023). Em contrapartida, o tratamento de animais infectados não é permitido nos programas oficiais de defesa sanitária, sendo o controle baseado na identificação e eliminação sanitária dos animais positivos, medida considerada fundamental para interromper a transmissão e proteger a saúde pública.

2.4.2 Transmissão

A transmissão da tuberculose bovina ocorre predominantemente por via aerógena, mediante a inalação de aerossóis contendo *Mycobacterium bovis* eliminados por animais infectados, especialmente aqueles com lesões pulmonares ou em linfonodos do trato respiratório (THOEN et al., 2006; WOA, 2024). A eliminação do agente pelas secreções respiratórias durante a tosse, espirros ou mesmo pela respiração favorece a infecção de animais suscetíveis, tornando essa a principal via de disseminação intra-rebanho.

Embora a transmissão respiratória seja considerada a mais importante, a infecção também pode ocorrer pela ingestão de leite cru contaminado, especialmente em bezerros alimentados com leite de vacas infectadas. Além disso, *M. bovis* pode ser eliminado por fezes, urina, secreções uterinas, sêmen e exsudatos provenientes de lesões abertas, dependendo da localização anatômica das lesões tuberculosas, contribuindo para a contaminação do ambiente e para a transmissão indireta da enfermidade (ALLEN et al., 2021; WOA, 2024).

A dinâmica de transmissão é fortemente influenciada pelos sistemas de produção e pelas práticas de manejo adotadas. Rebanhos mantidos em sistemas intensivos ou semi-intensivos, caracterizados por elevada densidade animal, maior tempo de permanência em instalações fechadas e ventilação inadequada, apresentam maior probabilidade de disseminação da doença em decorrência do aumento da exposição aos aerossóis contaminados (KHAIRULLAH et al., 2024; RODGERS et al., 2007). Da mesma forma, a introdução de animais sem testes diagnósticos prévios, a ausência de quarentena, a movimentação frequente entre propriedades e o contato prolongado entre animais infectados e suscetíveis constituem importantes fatores de risco para a manutenção da enfermidade.

A persistência da tuberculose bovina nos rebanhos também está relacionada ao longo período de incubação e à elevada frequência de infecções subclínicas. Animais infectados podem permanecer eliminando *M. bovis* durante meses ou anos antes de apresentarem sinais clínicos evidentes, favorecendo cadeias silenciosas de transmissão e dificultando a detecção precoce pelos sistemas de vigilância (THOEN et al., 2006; WOA, 2024). Em consequência, rebanhos com elevada pressão de infecção tendem a apresentar maior probabilidade de manutenção da doença, especialmente quando associada à permanência de animais positivos e à deficiência nas medidas de biossegurança.

Além da transmissão entre bovinos, *M. bovis* possui amplo espectro de hospedeiros e pode infectar diversas espécies domésticas, silvestres e o ser humano. Em alguns países, espécies da fauna silvestre atuam como importantes reservatórios epidemiológicos, dificultando a erradicação da enfermidade e favorecendo sua reintrodução em rebanhos bovinos. Exemplos clássicos incluem o texugo (*Meles meles*) no Reino Unido e na Irlanda, o gambá-de-cauda-escovada (*Trichosurus vulpecula*) na Nova Zelândia e o búfalo-africano (*Syncerus caffer*) na África do Sul (FITZGERALD et al., 2013; PALMER, 2013; WOA, 2024). No Brasil, embora a participação da fauna silvestre na epidemiologia da tuberculose bovina ainda seja considerada limitada e pouco elucidada, a circulação do agente em diferentes espécies reforça a necessidade de abordagens integradas de vigilância.

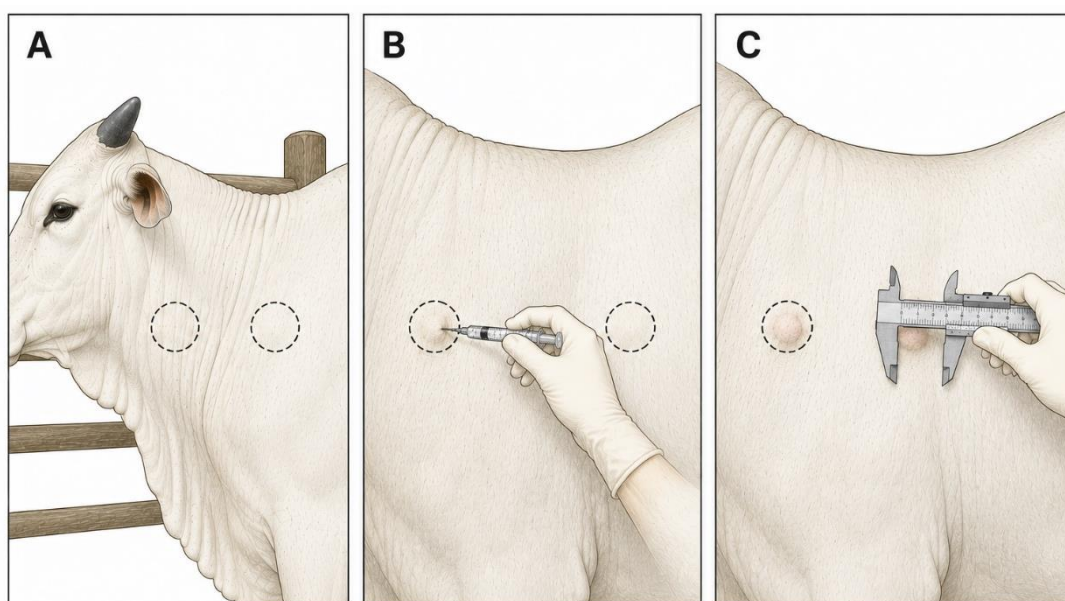
2.4.3 Diagnóstico no âmbito do PNCEBT

Diferentemente da brucelose bovina, cujo diagnóstico oficial baseia-se predominantemente em testes sorológicos, a identificação da tuberculose bovina no âmbito do PNCEBT fundamenta-se principalmente na resposta imunológica mediada por células, avaliada por meio de testes de tuberculinização intradérmica (BRASIL, 2017). Esses testes detectam a hipersensibilidade tardia desencadeada pela exposição prévia ao *Mycobacterium bovis*, permitindo a identificação de animais infectados antes mesmo da manifestação de sinais clínicos.

O Teste da Prega Caudal (TPC), destinado principalmente à triagem em determinadas categorias de animais e sistemas de produção, constitui um método baseado na inoculação intradérmica de tuberculina na prega caudal. Sua principal vantagem é a facilidade de execução em grandes rebanhos. Contudo, em razão de sua menor especificidade em comparação ao TCC, os animais reagentes devem ser submetidos a métodos confirmatórios para definição do diagnóstico (BRASIL, 2017). Como métodos diagnósticos oficiais, o PNCEBT considera o Teste Cervical Simples (TCS), utilizado como teste de rotina e o Teste Cervical Comparativo (TCC), empregado como teste confirmatório (BRASIL, 2017). A interpretação dos resultados considera critérios padronizados estabelecidos pelo MAPA, a intensidade da reação de hipersensibilidade tardia após a inoculação intradérmica da tuberculina.

Como método de rotina empregado pelo PNCEBT, o Teste Cervical Simples (TCS) consiste na inoculação intradérmica de tuberculina PPD bovina na região cervical, seguida da mensuração da espessura da pele após 72 horas. O procedimento baseia-se na resposta de hipersensibilidade tardia mediada por linfócitos T previamente sensibilizados ao *Mycobacterium bovis*, sendo recomendado para programas de vigilância e certificação de propriedades (BRASIL, 2017; WOAH, 2024).

Figura 2 - Procedimento de realização do Teste Cervical Comparativo (TCC) em bovinos.



Fonte: Ilustração feita por Inteligência Artificial, 2026.

O Teste Cervical Comparativo (TCC) é utilizado principalmente como teste confirmatório em animais classificados como inconclusivos ou reagentes ao TCS, bem como em situações específicas previstas pelo PNCEBT. Nesse método são inoculadas simultaneamente tuberculinas bovina e aviária em pontos distintos da região cervical, permitindo diferenciar reações decorrentes da infecção por *M. bovis* daquelas provocadas pela sensibilização por micobactérias ambientais, aumentando a especificidade diagnóstica (BRASIL, 2017; WOAH, 2024).

Além dos testes citados anteriormente, métodos laboratoriais complementares vêm sendo incorporados aos programas de vigilância em situações específicas. O teste ELISA pode ser autorizado como método complementar exclusivamente em focos de tuberculose em processo de

saneamento, sendo aplicado apenas em animais negativos à tuberculinização, conforme o Ofício-Circular DSA nº 95/2023 (BRASIL, 2023).

Em Santa Catarina, a Portaria SAR nº 32/2020 autorizou a utilização do ensaio imunoenzimático (ELISA) como método complementar ao saneamento de focos de tuberculose bovina. Diferentemente da tuberculinização, o ELISA detecta anticorpos circulantes contra *M. bovis*, apresentando maior sensibilidade em animais com infecção avançada ou anérgicos, nos quais a resposta celular pode estar reduzida. Assim, sua utilização associada aos testes intradérmicos permite aumentar a capacidade de identificação de animais infectados e acelerar o saneamento dos rebanhos (SANTA CATARINA, 2020b).

O ensaio de liberação de interferon-gama (IFN- γ) é reconhecido pela WOAHL como método complementar aos testes de tuberculinização. Baseia-se na quantificação da produção de interferon-gama por linfócitos sensibilizados após estimulação *in vitro* com antígenos de *Mycobacterium bovis*, permitindo a detecção precoce da infecção por avaliar a resposta imune celular antes do desenvolvimento de reações detectáveis pelos testes intradérmicos (WOAHL, 2024, SCHILLER et al, 2010, ROTHEN et al., 1990). Apesar de apresentar elevada sensibilidade e ser empregado como ferramenta complementar em programas sanitários de alguns países, sua utilização requer infraestrutura laboratorial especializada, processamento das amostras em curto intervalo de tempo e apresenta custos operacionais mais elevados. No Brasil, o ensaio de liberação de interferon-gama não integra os métodos diagnósticos oficiais previstos pelo PNCEBT, sendo sua aplicação restrita principalmente ao âmbito da pesquisa científica.

No âmbito do PNCEBT, o saneamento de focos consiste na identificação dos animais reagentes aos testes oficiais, eliminação sanitária dos positivos e realização de testes periódicos em todo o rebanho até que sejam obtidos resultados negativos consecutivos, conforme os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa MAPA nº 10/2017 (BRASIL, 2017). Durante esse período, a movimentação de animais é restringida e medidas adicionais de biossegurança são adotadas para reduzir o risco de disseminação da enfermidade.

Quanto a Santa Catarina, Instrução Normativa DIDAG nº 01/2023 regulamentou a execução do calendário estadual de vigilância da tuberculose em propriedades leiteiras, estabelecendo que todo o rebanho bovino e bubalino deve

ser submetido ao Teste Cervical Simples ou ao Teste Cervical Comparativo pelo menos uma vez a cada 36 meses, conforme cronograma publicado pela CIDASC para os municípios e localidades do estado.

Além do monitoramento periódico dos rebanhos, a legislação catarinense estabelece medidas voltadas à prevenção da introdução da tuberculose em propriedades leiteiras. A Portaria SAR nº 44/2020 determina que animais destinados à reprodução ou à produção leiteira somente podem ser introduzidos nas propriedades mediante apresentação de exames válidos e resultados negativos para tuberculose e brucelose, reforçando o controle da movimentação animal como componente.

Como mecanismo adicional de incentivo ao cumprimento das medidas sanitárias, a Portaria SAR nº 44/2020 estabelece que estabelecimentos sob inspeção oficial devem verificar continuamente a situação sanitária de seus fornecedores, sendo proibida a captação de leite proveniente de propriedades que não atendam aos requisitos de vigilância, testagem ou saneamento estabelecidos pela legislação estadual. Essa integração entre defesa sanitária animal e cadeia produtiva fortalece o cumprimento das ações de controle.

Outro aspecto inovador da legislação catarinense consiste na utilização do ELISA de forma complementar, e não substitutiva, aos testes de tuberculinização. A Portaria SAR nº 32/2020 determina a realização obrigatória do ensaio sorológico em paralelo ao Teste Cervical Simples ou Comparativo durante o saneamento de focos, mantendo a exigência de testes consecutivos negativos de tuberculinização para encerramento da interdição sanitária da propriedade (SANTA CATARINA, 2020b). Essa estratégia busca aumentar a sensibilidade diagnóstica, permitindo a identificação de animais infectados que não apresentem resposta satisfatória à tuberculinização, reduzindo o tempo necessário para eliminação dos focos.

As medidas complementares adotadas em Santa Catarina refletem a transição de programas voltados ao controle para estratégias de erradicação em um cenário de baixa prevalência.

2.4.4 Controle e saneamento

O controle da tuberculose bovina baseia-se na interrupção da cadeia de transmissão por meio da identificação precoce e eliminação dos animais infectados, associadas ao controle da movimentação animal, medidas de

biossegurança e vigilância epidemiológica contínua. Diferentemente da brucelose bovina, não há vacina aprovada para utilização nos programas oficiais de controle no Brasil, tornando o diagnóstico precoce e o saneamento de focos os principais pilares das estratégias de erradicação (BRASIL, 2017).

O saneamento de focos consiste na identificação dos animais reagentes aos testes oficiais, eliminação sanitária dos positivos e realização de testes sucessivos em todo o rebanho até que sejam obtidos resultados negativos consecutivos, conforme os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa MAPA nº 10/2017 (BRASIL, 2017). Durante esse período, a propriedade permanece sob controle do Serviço Veterinário Oficial, com restrições à movimentação de animais suscetíveis e adoção de medidas de biossegurança destinadas a reduzir a disseminação do agente para outros rebanhos.

Além da eliminação dos animais positivos, recomenda-se a investigação epidemiológica para identificação da provável origem da infecção e de propriedades com vínculo epidemiológico, permitindo a rastreabilidade dos animais e a adoção de medidas preventivas em estabelecimentos com risco de exposição. Paralelamente, práticas de manejo como isolamento de animais suspeitos, higienização adequada das instalações, redução da superlotação, melhoria da ventilação em sistemas confinados e controle da introdução de novos animais contribuem para diminuir a pressão de infecção e reduzir a persistência da doença nos rebanhos (WOAH, 2024).

Em Santa Catarina, as ações de controle foram ampliadas por normas estaduais complementares ao PNCEBT, considerando o cenário de baixa prevalência da enfermidade. A Portaria SAR nº 32/2020 autorizou a utilização do ensaio imunoenzimático (ELISA) como método complementar aos testes de tuberculinização durante o saneamento de focos, visando aumentar a sensibilidade diagnóstica e acelerar a identificação de animais infectados. Entretanto, o ELISA não substitui os testes oficiais de tuberculinização, permanecendo obrigatória a obtenção de resultados negativos nos testes intradérmicos para a desinterdição das propriedades com foco (SANTA CATARINA, 2020b).

3 REFERÊNCIAS

ACHA, P. N.; SZYFRES, B. *Zoonoses and communicable diseases common to man and animals*. 3. ed. Washington, DC: Pan American Health Organization, 2001. v. 1. (Scientific and Technical Publication, n. 580).

ABOUSHADY, A. T.; MANSOUR, F.; EL MAGHRABY, M.; TEIXEIRA, B.; CUNHA, S.; DANTAS, M. M.; NAWWAR, A.; HEGAZY, A.; CHEN-XU, J. The use of SaTScan software to map spatiotemporal trends and detect disease clusters: a systematic review. *Communications Medicine*, London, v. 5, n. 1, 2025. DOI: 10.1038/s43856-024-00699-1.

ALLEN, A. R.; FORD, T.; SKUCE, R. A. Does *Mycobacterium tuberculosis* var. *bovis* survival in the environment confound bovine tuberculosis control and eradication? A literature review. *Veterinary Medicine International*, v. 2021, art. 8812898, 2021. DOI: 10.1155/2021/8812898.

BAPTISTA, T. F. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA-DOURADO, S. M.; COSTA, G. M.; LOPES, E.; BRUHN, F. R. P.; BRAZ, M. S.; ROCHA, C. M. B. M. Spatial and temporal analyses of culls due to bovine tuberculosis in slaughterhouses of Minas Gerais State, Brazil, 2008 to 2012. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 41, e06933, 2021. DOI: 10.1590/1678-5150-PVB-6933.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Departamento de Saúde Animal. *Informe anual do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose (PNCEBT): 2025*. Brasília, DF: MAPA, 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Secretaria de Comércio Exterior. *Comex Stat: estatísticas do comércio exterior brasileiro*. Brasília, DF: MDIC, [2025]. Disponível em: [Comex Stat](#)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 50, de 24 de setembro de 2013**. Altera a lista de doenças passíveis da aplicação de medidas de defesa sanitária animal, previstas no art. 61 do Regulamento do Serviço de Defesa Sanitária Animal. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 25 set. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 10, de 3 de março de 2017**. Aprova o Regulamento Técnico do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose Animal (PNCEBT). *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 20 mar. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria SDA nº 431, de 19 de outubro de 2021**. Aprova os procedimentos de trânsito e de certificação sanitária de produtos de origem animal e de habilitação para exportação de estabelecimentos nacionais registrados junto ao Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 20 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Saúde Animal. **Ofício-Circular DSA nº 95/2023, de 4 de outubro de 2023**. Dispõe sobre a utilização do teste sorológico ELISA como estratégia complementar do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose Animal (PNCEBT) para o saneamento de focos de tuberculose bovina.

CARVALHO, T. P.; SILVA, L. A.; CASTANHEIRA, T. L. L.; SOUZA, T. D.; PAIXÃO, T. A.; LAZARO-ANTON, L.; TSOLIS, R. M.; SANTOS, R. L. Cell and tissue tropism of *Brucella* spp. *Infection and Immunity*, v. 91, n. 5, e00062-23, 2023. DOI: 10.1128/IAI.00062-23.

CORBEL, M. J. *Brucellosis in humans and animals*. Geneva: World Health Organization, 2006.

COSTA, A. C. T. R. B.; BHOWMICK, S.; LOWE, J. F.; LAGE, A. P.; OLIVEIRA, L. F.; DORNELES, E. M. S. A spatiotemporal analysis of bovine brucellosis cases in Minas Gerais state, Brazil, from 2011 to 2018. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 224, art. 106101, 2024. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2023.106101.

COWIE, C. E.; MARREOS, N.; GORTÁZAR, C.; JAROSO, R.; WHITE, P. C. L.; BALSEIRO, A. Shared risk factors for multiple livestock diseases: a case study of bovine tuberculosis and brucellosis. *Research in Veterinary Science*, v. 97, n. 3, p. 491–497, 2014. DOI: 10.1016/j.rvsc.2014.09.002.

DEKA, R. P.; MAGNUSSON, U.; GRACE, D.; LINDAHL, J. Bovine brucellosis: prevalence, risk factors, economic cost and control options with particular reference to India: a review. *Infection Ecology & Epidemiology*, Abingdon, v. 8, n. 1, e1556548, 2018. DOI: 10.1080/20008686.2018.1556548.

EPAGRI/Cepa. *Desempenho da agropecuária e do agronegócio de Santa Catarina: 2024*. Boletim Técnico, n. 225. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2025.

EPAGRI/Cepa. Mudanças na dinâmica e na distribuição geográfica da bovinocultura catarinense (1990–2022). In: *SIMPÓSIO BRASIL SUL DE BOVINOCULTURA DE LEITE*, 12., 2023, Chapecó. *Anais [...]* Florianópolis: Epagri/Cepa, 2023.

EPAGRI/Cepa. *Números da agropecuária catarinense: NAC 2021*. Documentos, n. 340. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2021.

FERREIRA NETO, J. S. Brucellosis and tuberculosis in cattle in South America. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, v. 55, n. 2, e141139, 2018. DOI: 10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2018.141139

FITZGERALD, S. D.; KANEENE, J. B. Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance, and control. *Veterinary Pathology*, v. 50, n. 3, p. 488–499, 2013. DOI: 10.1177/0300985812467472.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022*. Rome: FAO, 2022. DOI: 10.4060/cc2211en.

GODFROID, J.; SCHOLZ, H. C.; BARBIER, T.; NICOLAS, C.; WATTIAU, P.; FRETIN, D.; WHATMORE, A. M.; CLOECKAERT, A.; BLASCO, J. M.; MORIYÓN, I.; SAEGERMAN, C.; MUMA, J. B.; AL DAHOUK, S.; NEUBAUER, H.; LETESSON, J.J. Brucellosis at the animal/ecosystem/human interface at the beginning of the 21st century. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 102, n. 2, p. 118–131, 2011. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2011.04.007.

GORVEL, J. P.; MORENO, E. Brucella intracellular life: from invasion to intracellular replication. *Veterinary Microbiology*, v. 90, n. 1–4, p. 281–297, 2002. DOI: 10.1016/S0378-1135(02)00214-6

IDREES, H.; ABBAS, J.; RAZA, A.; QAMAR, M. H.; WAHEED, M. A.; ARSHAD, M. B.; ALI, M. H.; JABAR, A.; FAROOQ, M.; REHMAN, T. U.; RAHEEM, A. A systematic overview of bovine brucellosis and its implications for public health: bovine brucellosis: a zoonotic threat. *Letters in Animal Biology*, v. 4, n. 1, p. 1–9, 2024. DOI: 10.62310/liab.v4i1.128.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa da Pecuária Municipal 2020*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). *Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2024*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: [SIDRA/IBGE](#).

KHAIRULLAH, A. R.; MOSES, I. B.; KUSALA, M. K. J.; TYASNINGSIH, W.; AYUTI, S. R.; RANTAM, F. A.; FAUZIAH, I.; SILAEN, O. S. M.; PUSPITASARI, Y.; ARYALOKA, S.; RAHARJO, H. M.; HASIB, A.; YANESTRIA, S. M.; NURHIDAYAH, N. Unveiling insights into bovine tuberculosis: a comprehensive review. *Open Veterinary Journal*, v. 14, n. 6, p. 1330-1344, 2024. DOI: 10.5455/OVJ.2024.v14.i6.2.

KHAIRULLAH, A. R.; KURNIAWAN, S. C.; PUSPITASARI, Y.; ARYALOKA, S.; SILAEN, O. S. M.; YANESTRIA, S. M.; WIDODO, A.; MOSES, I. B.; EFFENDI, M. H.; AFNANI, D. A. *et al.* Brucellosis: unveiling the complexities of a pervasive zoonotic disease and its global impacts. *Open Veterinary Journal*, v. 14, n. 5, p. 1081-1097, 2024. DOI: 10.5455/OVJ.2024.v14.i5.1.

KHURANA, S.; SEHRAWAT, A.; TIWARI, R. *et al.* Bovine brucellosis: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, Abingdon, v. 41, n. 1, p. 61-88, 2021. DOI: 10.1080/01652176.2020.1868616.

LETESSON, J.-J.; BARBIER, T.; ZÚÑIGA-RIPA, A.; GODFROID, J.; DE BOLLE, X.; MORIYÓN, I. Brucella genital tropism: what's on the menu. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, art. 506, 2017. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00506.

LIU, M.; LI, Q.; ZHANG, Y.; MA, Y.; LIU, Y.; FENG, W.; HOU, C.; AMSALU, E.; LI, X.; WANG, W.; LI, W.; GUO, X. Spatial and temporal clustering analysis of tuberculosis in mainland China at the prefecture level, 2005-2015. *Infectious Diseases of Poverty*, London, v. 7, n. 106, 2018. DOI: 10.1186/s40249-018-0483-6.

MILNE, G. M.; GRAHAM, J.; ALLEN, A.; LAHUERTA-MARIN, A.; MCCORMICK, C.; PRESCHO, E.; SKUCE, R.; BYRNE, A. W. Spatiotemporal analysis of prolonged and recurrent bovine tuberculosis breakdowns in Northern Irish cattle herds reveals a new infection hotspot. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, Amsterdam, v. 28, p. 33-42, 2019. DOI: 10.1016/j.sste.2018.11.002.

OLIVEIRA, F. A. S.; CASTRO, R. J. S.; OLIVEIRA, J. F.; BARRETO, F. M.; FARIAS, M. P. O.; MARINHO, G. L. O. C.; SOARES, M. J. S.; SILVA-JÚNIOR, A.; SCHWARZ, D. G. G. Geographical and temporal spread of equine rabies in Brazil. *Acta Tropica*, v. 227, art. 106302, 2022. DOI: 10.1016/j.actatropica.2022.106302.

OLSEN, S. C.; BOGGIATTO, P. M. Characterization of the duration of immunity of *Brucella abortus* strain RB51 vaccination in cattle after experimental challenge. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 206, art. 105705, 2022. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105705.

PALMER, M. V. *Mycobacterium bovis*: characteristics of wildlife reservoir hosts. *Transboundary and Emerging Diseases*, v. 60, suppl. 1, p. 1–13, 2013. DOI: 10.1111/tbed.12115.

POESTER, F. P.; SAMARTINO, L. E.; SANTOS, R. L. Pathogenesis and pathobiology of brucellosis in livestock. *Revue Scientifique et Technique (Office International des Épidémiologies)*, Paris, v. 32, n. 1, p. 105-115, 2013. DOI: 10.20506/rst.32.1.2193..

RIBEIRO, C. M.; CARVALHO, J. L. B.; BASTOS, P. A. S.; MENDES, R. G.; KATAGIRI, S.; COSTA, V. M. Spatial and temporal trend analysis of bovine brucellosis in Brazil, 2014 to 2018. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 41, n. 4, p. 1279-1289, 2020. DOI:10.5433/1679-0359.2020v41n4p1279

RADOSTITS, O. M.; GAY, C. C.; HINCHCLIFF, K. W.; CONSTABLE, P. D. *Veterinary medicine: a textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses*. 10. ed. Edinburgh: Saunders Elsevier, 2007.

ROTHEL, J. S.; JONES, S. L.; CORNER, L. A.; COX, J. C.; WOOD, P. R. A sandwich enzyme immunoassay for bovine interferon-gamma and its use for the

detection of tuberculosis in cattle. *Australian Veterinary Journal*, St. Leonards, v. 67, n. 4, p. 134-137, 1990. DOI: 10.1111/j.1751-0813.1990.tb07730.x.

ROBERTSON, C.; NELSON, T. A.; MACNAB, Y. C.; LAWSON, A. B. Review of methods for space-time disease surveillance. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, v. 1, n. 2-3, p. 105-116, 2010. DOI: 10.1016/j.sste.2009.12.001.

ROCHA, I. D. S.; CLEMENTINO, I. J.; SOUSA, D. L. C.; ALVES, C. J.; SANTOS, C. S. A. B.; AZEVEDO, S.S. Distribution, seroprevalence and risk factors for bovine brucellosis in Brazil: official data, systematic review and meta-analysis. *Revista Argentina de Microbiología*, v. 56, n. 2, p. 153-164, 2024. DOI: 10.1016/j.ram.2023.08.002.

RODGERS, J. D.; CONNERY, N. L.; MCNAIR, J.; WELSH, M. D.; SKUCE, R. A.; BRYSON, D. G.; MCMURRAY, D. N.; POLLOCK, J. M. Experimental exposure of cattle to a precise aerosolised challenge of *Mycobacterium bovis*: a novel model to study bovine tuberculosis. *Tuberculosis*, v. 87, n. 5, p. 405-414, 2007. DOI: 10.1016/j.tube.2007.04.003.

SANTA CATARINA. **Lei nº 5.516, de 28 de fevereiro de 1979**. Dá nova redação à Lei nº 5.089, de 30 de abril de 1975, que dispõe sobre a organização da Administração Estadual, estabelece diretrizes para a modernização administrativa e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, 12 mar. 1979.

SANTA CATARINA. **Lei nº 6.431, de 25 de outubro de 1984**. Altera o artigo 79 da Lei nº 5.089, de 30 de abril de 1975, com a redação da Lei nº 5.516, de 28 de fevereiro de 1979. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, n. 12.578, 29 out. 1984. Disponível em: portal de legislação da Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina.

SANTA CATARINA. Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC). Departamento Estadual de Defesa Sanitária Animal (DEDSA). **Instrução de Serviço DEDSA n.º 007/2018**. Estabelece procedimentos para a comercialização, utilização e controle da vacina contra brucelose bovina, amostra RB51, no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: CIDASC, 2018.

SANTA CATARINA. Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola (CIDASC). *Estatuto Social*. Florianópolis: CIDASC, 2019

SANTA CATARINA. **Lei Complementar nº 741, de 12 de junho de 2019**. Dispõe sobre a estrutura organizacional básica e o modelo de gestão da Administração Pública Estadual e estabelece outras providências. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, 12 jun. 2019.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. **Portaria SAR n.º 44, de 16 de dezembro de 2020**. Institui normas complementares para o cadastro da produção leiteira e para o controle da brucelose e tuberculose em propriedades leiteiras. Florianópolis:

Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural, 2020a.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. **Portaria SAR nº 32, de 15 de outubro de 2020.** Autoriza o teste de imunoensaio enzimático (ELISA) para diagnóstico sorológico da tuberculose animal, por meio de kit registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para uso nas ações do Programa Estadual de Erradicação da Tuberculose Animal e estabelece a obrigatoriedade da realização do diagnóstico sorológico por ELISA em paralelo ao teste de tuberculinização para o saneamento de focos de tuberculose. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, 2020b.

SANTA CATARINA. Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC). Diretoria de Defesa Agropecuária (DIDAG). **Instrução Normativa DIDAG nº 01, de 4 de setembro de 2023.** Estabelece as condições para aceitação de exames de tuberculose realizados em momentos distintos nas propriedades com produção leiteira. Florianópolis: CIDASC, 2023.

SCHILLER, I.; WATERS, W. R.; VORDERMEIER, H. M. *et al.* Bovine tuberculosis: a review of current and emerging diagnostic techniques in view of their relevance for disease control and eradication. *Transboundary and Emerging Diseases*, Berlin, v. 57, n. 4, p. 205-220, 2010. DOI: 10.1111/j.1865-1682.2010.01148.x.

SCHWARZ, D. G. G.; SOUSA JÚNIOR, P. F.; SILVA, R. C. P.; OLIVEIRA, J. F.; FARIA, M. O. F.; MARINHO, G. L. O. C.; OLIVEIRA, R. P.; MOREIRA, M. A. S. Spatiotemporal distribution and temporal trends of brucellosis and tuberculosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Brazil. *Preventive Veterinary Medicine*, Amsterdam, v. 193, p. 105417, 2021. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2021.105417.

THOEN, C.; LOBUE, P.; DE KANTOR, I. The importance of *Mycobacterium bovis* as a zoonosis. *Veterinary Microbiology*, Amsterdam, v. 112, n. 2-4, p. 339-345, 2006. DOI: 10.1016/j.vetmic.2005.11.047.

THOMÉ, V. M. R. *et al.* Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999.

WILLGERT, K.; CLIFF, M.; MEINKE, S.; MESSINA, D.; BROOM, D. M.; WOOD, J.; CONLAN, A. J. K. Burden of bovine tuberculosis on animal health, welfare and production: a systematic review. *Transboundary and Emerging Diseases*, v. 2025, art. 6541298, 2025. DOI: 10.1155/tbed/6541298.

WISEMAN, J.; CASSIDY, J. P.; GORMLEY, E. The problem that residual *Mycobacterium bovis* infection poses for the eradication of bovine tuberculosis. *The Veterinary Journal*, v. 308, art. 106266, 2024. DOI: 10.1016/j.tvjl.2024.106266.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals*. Chapter: Bovine brucellosis (*Brucella abortus*, *B. melitensis* and *B. suis*). Paris: WOAH, 2024.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals*. Chapter: Infection with *Mycobacterium tuberculosis* complex. Paris: WOAH, 2024.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). *Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures (SPS Agreement)*. Marrakesh: World Trade Organization, 1994.

XIAO, Y.; LI, M.; GUO, X.; ZENG, H.; SHUAI, X.; GUO, J.; HUANG, Q.; CHU, Y.; ZHOU, B.; WEN, J. *et al.* Inflammatory mechanism of *Brucella* infection in placental trophoblast cells. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 23, n. 21, p. 13417, 2022. DOI: 10.3390/ijms232113417.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivos gerais

Analisar a dinâmica espacial, temporal e espaço-temporal da brucelose e da tuberculose bovina no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025.

4.2 Objetivos específicos

- Descrever a distribuição espacial dos casos confirmados de brucelose e tuberculose bovina nos municípios catarinenses.
- Determinar os riscos de incidência das enfermidades durante o período de estudo em cada município.
- Analisar as tendências temporais de risco de incidência entre o período estudado.
- Identificar conglomerados (clusters) espaço-temporais de elevado risco e significância estatística
- Contribuir para estratégias de vigilância baseada em risco, priorização de áreas e planejamento das ações do serviço veterinário oficial no estado de Santa Catarina.

5 ARTIGO CIENTÍFICO - Dinâmica espaço-temporal da brucelose bovina e da tuberculose bovina em Santa Catarina, Brasil.

Resumo

À medida que a brucelose e a tuberculose bovinas se aproximam de cenários de baixa prevalência, o desafio epidemiológico deixa de ser o controle disseminado das doenças e passa a concentrar-se na identificação e eliminação de hotspots residuais que sustentam a transmissão. Este estudo teve como objetivo caracterizar as tendências temporais, a distribuição espacial e os padrões de aglomeração espaço-temporal de ambas as enfermidades no estado de Santa Catarina, uma área de baixa prevalência no Brasil, entre 2016 e 2025. Foram utilizados casos confirmados notificados pelo Serviço Veterinário Oficial, enquanto dados da população bovina foram empregados para estimar as taxas de incidência por 10.000 animais. As tendências temporais foram avaliadas por meio da análise de regressão Joinpoint, a distribuição espacial foi analisada por meio de mapas temáticos elaborados no software QGIS e os conglomerados espaço-temporais foram identificados utilizando o modelo discreto de Poisson implementado no software SaTScan. As análises revelaram distribuição heterogênea para ambas as doenças, com diferentes padrões caracterizados por municípios que apresentaram tendências crescentes, decrescentes e estáveis ao

longo do período. Foram identificados conglomerados espaço-temporais estatisticamente significativos com elevados riscos relativos para ambas as enfermidades. A tuberculose bovina apresentou maior número de conglomerados estatisticamente significativos, sugerindo um padrão espacial mais fragmentado e a persistência de hotspots localizados de transmissão. Em contraste, a brucelose bovina foi caracterizada por conglomerados de maior extensão espacial e maior duração temporal. Os resultados reforçam a necessidade de estratégias de vigilância geograficamente direcionadas e evidenciam a importância da integração de ferramentas epidemiológicas para subsidiar medidas sustentáveis voltadas ao alcance das metas de erradicação em longo prazo.

Palavras-chave: Epidemiologia; Defesa Sanitária Animal; Vigilância Epidemiológica; Risco.

5.1 Introdução

A brucelose bovina e a tuberculose bovina permanecem entre as mais importantes zoonoses bacterianas crônicas que afetam os sistemas de produção pecuária em todo o mundo. Causadas por *Brucella abortus* e por membros do complexo *Mycobacterium tuberculosis*, predominantemente *Mycobacterium bovis*, essas enfermidades são responsáveis por perdas econômicas significativas decorrentes de falhas reprodutivas, abortamentos, infertilidade, redução da produção de leite, descarte prematuro de animais e restrições ao comércio (LOKAMAR et al., 2020; WILLGERT et al., 2025). Além disso, seu potencial zoonótico representa uma importante preocupação para a saúde pública, especialmente em regiões onde persiste a exposição ocupacional a animais infectados (PEREIRA et al., 2020) ou o consumo de produtos lácteos não pasteurizados (ALMASHHADANY al., 2022). Apesar de décadas de esforços de controle implementados em diversos países, ambas as doenças continuam circulando, frequentemente restritas a áreas localizadas em decorrência de sua natureza crônica, da apresentação subclínica e da persistência em rebanhos infectados (WOAH, 2025; OLSEN, 2014; WILLGERT et al., 2025).

A redução progressiva da prevalência da brucelose e da tuberculose bovinas representa uma importante conquista dos programas de saúde animal em âmbito mundial. Entretanto, à medida que a prevalência dessas enfermidades diminui, sua dinâmica epidemiológica frequentemente se desloca da transmissão disseminada para a persistência localizada, caracterizada pela ocorrência de hotspots residuais, distribuição espacial heterogênea e casos esporádicos (ABOUSHADY et al., 2025). Nesses cenários de baixa prevalência, as abordagens

convencionais de vigilância baseadas exclusivamente na detecção de casos e na estimativa da prevalência podem tornar-se menos sensíveis para identificar as fontes remanescentes de infecção, reforçando a necessidade da adoção de estratégias de vigilância baseada em risco e de ferramentas epidemiológicas avançadas para subsidiar as metas de erradicação das doenças (Stärk et al., 2004; WOA, 2024).

No Brasil, o Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT), instituído em 2001, promoveu avanços substanciais no controle dessas enfermidades por meio da implementação de medidas sanitárias compulsórias, certificação de propriedades livres, padronização dos métodos diagnósticos e fortalecimento dos sistemas de vigilância veterinária (MAPA, 2001; MAPA, 2017; MAPA, 2024). Entre as diversas ações desenvolvidas pelo PNCEBT, a padronização dos procedimentos diagnósticos em todo o território nacional destaca-se como uma de suas principais conquistas. No âmbito do programa, o diagnóstico oficial da brucelose bovina é realizado por meio do teste do Antígeno Acidificado Tamponado (AAT), como teste de triagem, seguido do teste do 2-Mercaptoetanol (2-ME), utilizado para confirmação diagnóstica. Para a tuberculose bovina, o diagnóstico é realizado utilizando-se o teste da prega caudal (TPC) ou o teste cervical simples (TCS) como testes de triagem, seguidos pelo teste cervical comparativo (TCC) como método confirmatório (MAPA, 2006).

O PNCEBT é coordenado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), cabendo aos órgãos executores de defesa sanitária animal de cada unidade da Federação regulamentar e implementar as diretrizes nacionais para o controle e a erradicação da brucelose e da tuberculose bovinas em seus respectivos territórios. As atividades de diagnóstico realizadas por médicos-veterinários da iniciativa privada devem ser executadas exclusivamente por profissionais habilitados no âmbito do PNCEBT, após treinamento específico em diagnóstico e controle dessas enfermidades. Os testes diagnósticos também podem ser realizados por médicos-veterinários oficiais ou por laboratórios credenciados, conforme o tipo de exame previsto na regulamentação vigente (MAPA, 2017).

Devido à ampla extensão territorial do Brasil, associada às variações de relevo, condições climáticas e características produtivas e culturais entre as

diferentes regiões, os estados brasileiros foram classificados de acordo com seus níveis de risco para brucelose e tuberculose bovinas. Essa classificação compreende cinco categorias: A (risco muito baixo), B (baixo risco), C (risco médio), D (alto risco) e E (risco desconhecido) (MAPA, 2020). Nesse contexto, o Plano Estratégico do PNCEBT para o período de 2024–2032 reforçou a transição para abordagens de vigilância adaptadas ao status epidemiológico de cada unidade da Federação, recomendando que as medidas de vigilância e controle sejam ajustadas conforme o nível de risco e o contexto epidemiológico regional (MAPA, 2024).

O estado de Santa Catarina, localizado na região Sul do Brasil, faz fronteira internacional com a Argentina, a oeste, e limita-se com os estados do Paraná, ao norte, e do Rio Grande do Sul, ao sul, conferindo-lhe posição estratégica para a vigilância epidemiológica e o controle em saúde animal. O estado possui aproximadamente 4,5 milhões de bovinos, correspondendo ao 18º maior efetivo bovino entre as unidades da Federação (IBGE, 2023). Nesse cenário, Santa Catarina é reconhecida nacional e internacionalmente pela excelência de seus programas de defesa sanitária animal, sendo classificada como área de risco negligenciável e o único estado brasileiro a receber a mais alta classificação atribuída pelo Ministério da Agricultura e Pecuária para o controle da brucelose e da tuberculose bovinas (Categoria A), apresentando prevalência de focos infectados de aproximadamente 0,91% para brucelose e 0,5% para tuberculose (MAPA, 2020). Em 2025, Santa Catarina realizou 122.762 testes para brucelose, correspondendo a aproximadamente 75% de todos os exames realizados no país (MAPA, 2026). Esse elevado número de testes reflete tanto a ampla capacidade diagnóstica disponível no estado quanto a elevada demanda decorrente das atividades contínuas de vigilância ativa, evidenciando o fortalecimento das ações de monitoramento e controle da brucelose e da tuberculose por meio de um Serviço Veterinário Oficial bem estruturado e consolidando um cenário favorável para a avaliação da persistência dessas enfermidades sob condições de vigilância intensiva.

Apesar dos avanços alcançados pelo PNCEBT, estudos integrando análises espaciais, temporais e espaço-temporais em cenários de baixa prevalência ainda são escassos, especialmente em escala subnacional. Considerando que Santa Catarina direciona suas ações para a erradicação da

brucelose e da tuberculose bovinas, a integração dessas abordagens analíticas pode contribuir para o aprimoramento da vigilância ativa ao possibilitar a identificação de conglomerados da doença, tendências temporais e áreas de maior risco que demandem intervenções direcionadas.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo caracterizar a dinâmica epidemiológica da brucelose bovina e da tuberculose bovina no estado de Santa Catarina, Sul do Brasil, entre 2016 e 2025, por meio da integração de análises de risco, espaciais, temporais e espaço-temporais, visando subsidiar as atividades de vigilância conduzidas pelo Serviço Veterinário Oficial.

5.2 Materiais e métodos

5.2.1 Delineamento do estudo e Coleta de dados.

Santa Catarina está localizada na região Sul do Brasil, entre as latitudes 25°57'21"S e 29°21'17"S e as longitudes 48°38'40"W e 53°50'13"W. O estado faz divisa com o Paraná ao norte, o Rio Grande do Sul ao sul, a Argentina a oeste e o Oceano Atlântico a leste. Possui área territorial de 95.730,684 km² e está administrativamente dividido em 295 municípios, agrupados em seis mesorregiões (Figura 2).

Os dados dos 295 municípios do estado de Santa Catarina foram obtidos a partir do banco de dados oficial do Serviço Veterinário Oficial (SVO) estadual, mantido pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC), órgão responsável pela execução das atividades oficiais de vigilância em saúde animal, abrangendo o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2025. O conjunto de dados foi composto por animais positivos para brucelose bovina e tuberculose bovina confirmados laboratorialmente, registrados pelo Serviço Veterinário Oficial em conformidade com os critérios diagnósticos e os procedimentos de vigilância estabelecidos pelo Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose Animal (PNCEBT) e pelas normas complementares vigentes no estado de Santa Catarina.

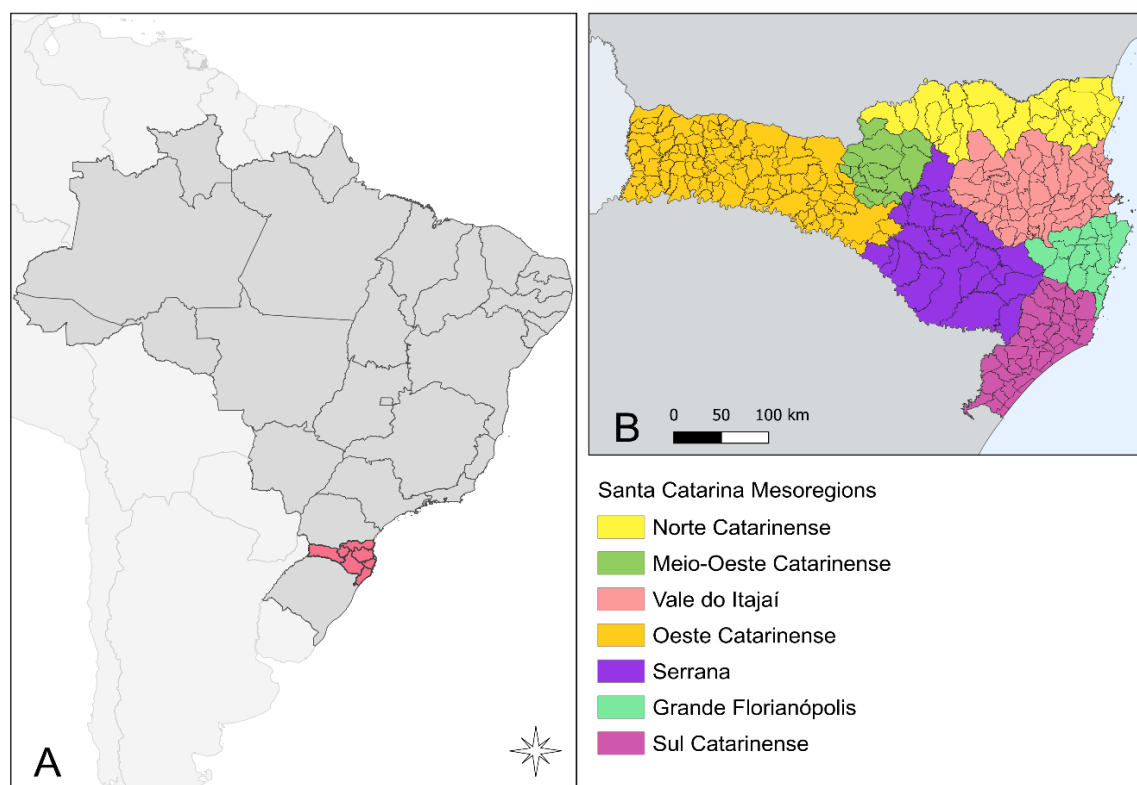
Para o presente estudo, um caso de brucelose bovina foi definido como um animal com infecção confirmada pelos testes diagnósticos oficialmente reconhecidos. O teste do Antígeno Acidificado Tamponado (AAT) foi utilizado como método de triagem, enquanto a confirmação diagnóstica foi realizada por meio do teste do 2-mercaptoetanol (2-ME) ou do Ensaio de Polarização

Fluorescente (FPA). Os casos de tuberculose bovina a triagem foi realizada por meio dos testes intradérmicos de tuberculinização, incluindo o Teste Cervical Simples (TCS) ou o Teste da Prega Caudal (TPC), sendo os animais com resultados positivos ou inconclusivos submetidos ao Teste Cervical Comparativo (TCC), considerado o teste confirmatório para o diagnóstico da enfermidade. O ensaio imunoenzimático (ELISA) passou a ser utilizado como método complementar durante o saneamento de focos de tuberculose bovina em 2020, seu emprego tornou-se obrigatório para animais com resultados negativos ou inconclusivos no TCC durante essas ações. Os animais confirmados como positivos foram obrigatoriamente destinados ao abate sanitário, assegurando que cada animal infectado fosse contabilizado apenas uma vez na base de dados oficial, sem ocorrência de duplicidade de casos positivos.

Os animais positivos para brucelose bovina e tuberculose bovina confirmados laboratorialmente foram considerados as variáveis dependentes, enquanto o município, o ano e o mês de ocorrência foram considerados as variáveis independentes.

Os dados referentes ao efetivo bovino anual de cada município foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), abrangendo o período de 2016 a 2025 (IBGE, 2024). Todos os dados foram compilados e organizados em planilhas do Microsoft Excel 2016 antes das análises. Por se tratar de um estudo baseado exclusivamente em dados secundários provenientes dos registros oficiais de vigilância, sem envolvimento direto de animais ou realização de procedimentos experimentais, não foi necessária a aprovação por um Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA).

Figura 1 - Localização geográfica do estado de Santa Catarina no Brasil e na América do Sul (A) e distribuição das mesorregiões no estado (B).



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

5.2.2 Distribuição descritiva e análise espacial

Foi realizada uma análise epidemiológica descritiva para caracterizar a distribuição dos casos confirmados de brucelose bovina e tuberculose bovina em Santa Catarina, no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2025. Foram calculadas as frequências absolutas de acordo com o ano e o mês de ocorrência, o município e a mesorregião. Também foram estimadas as frequências relativas (%) para descrever a contribuição proporcional de cada município e mesorregião em relação ao número total de casos confirmados durante o período de estudo. Além disso, a população bovina foi caracterizada por meio de números absolutos e de sua distribuição proporcional segundo o município e a mesorregião.

Posteriormente, o risco de incidência (RI) foi estimado anualmente para cada município, dividindo-se o número de novos casos confirmados pela população bovina sob risco e multiplicando-se o resultado por 10.000 bovinos. Os valores de RI calculados foram utilizados como o principal indicador epidemiológico nas análises temporal, espacial e espaço-temporal. Os limites

geográficos municipais foram obtidos da base cartográfica oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

5.2.3 Análises de tendência temporais

A análise da tendência temporal do risco de incidência da brucelose bovina e da tuberculose bovina foi realizada utilizando o programa Joinpoint Regression, versão 5.4.0 (National Cancer Institute, Bethesda, MD, EUA). Os riscos anuais de incidência, expressos como o número de casos confirmados por 10.000 bovinos, foram calculados para cada um dos 295 municípios de Santa Catarina entre 2016 e 2025. As análises foram realizadas separadamente para cada enfermidade, considerando cada município como unidade de análise.

Os modelos de regressão Joinpoint foram ajustados assumindo distribuição de Poisson, tendo o ano como variável independente e o risco anual de incidência como variável dependente. Os municípios que apresentaram risco anual de incidência igual a zero receberam o valor de 0,5 para possibilitar a transformação logarítmica e o ajuste dos modelos, conforme recomendado pelo próprio software.

As tendências temporais foram descritas por meio da Variação Percentual Anual (Annual Percent Change – APC) e de seus respectivos intervalos de confiança de 95% (IC95%). As tendências foram classificadas como crescentes (APC positiva), decrescentes (APC negativa) ou estáveis, quando não foi detectada alteração estatisticamente significativa. A significância estatística foi determinada, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5.2.4 Análise de clusters espaço-temporais

Foi realizada análise retrospectiva espaço-temporal dos dados oficiais de casos de brucelose bovina e tuberculose bovina utilizando o software SaTScan™ versão 9.6 (Kulldorff, 2021), aplicado aos dados de notificação dessas enfermidades em bovinos no Brasil, conforme descrito por Schwarz et al. (2021). Para detectar conglomerados com elevado risco de ocorrência durante o período de estudo (2016–2025), foi empregado o modelo discreto de Poisson, considerando cada município como unidade espacial de análise.

O conglomerado mais provável (cluster primário) foi definido como aquele que apresentou a maior razão de verossimilhança (log-likelihood ratio – LLR), representando o agrupamento com menor probabilidade de ter ocorrido ao acaso.

Os conglomerados secundários foram classificados de acordo com seus respectivos valores de LLR. A significância estatística dos conglomerados foi avaliada por meio do teste de simulação de Monte Carlo com 999 repetições, adotando-se nível de significância de 5%. O risco relativo (RR) foi estimado para cada conglomerado identificado, comparando-se o risco estimado no interior do conglomerado com o risco estimado fora dele, de acordo com a seguinte equação:

$$RR = \frac{\frac{c}{E[c]}}{\frac{C - c}{E[C] - E[c]}} = \frac{\frac{c}{E[c]}}{\frac{C - c}{C[C] - E[c]}}$$

Em que c representa o número de casos observados dentro do conglomerado, C representa o número total de casos observados no conjunto de dados e $E[c]$ corresponde ao número esperado de casos sob a hipótese nula de distribuição espacial aleatória.

Os clusters identificados foram posteriormente expressos em mapas no software QGIS *version 3.40* (QGIS Development Team, Open Source Geospatial Foundation), com o objetivo de facilitar a visualização das áreas de maior risco para brucelose bovina e tuberculose bovina em Santa Catarina.

5.2.5 Mapeamento geoespacial e visualização de dados

A visualização espacial dos dados foi realizada no software QGIS versão 3.40 (QGIS Development Team, Open Source Geospatial Foundation). Os dados de brucelose bovina e tuberculose bovina foram agregados por município, sendo o risco de incidência (RI), o número absoluto de casos confirmados e os valores médios anuais representados por meio de mapas coropléticos. Os códigos municipais e as coordenadas geográficas foram obtidos na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para melhor representar a variabilidade espacial e a distribuição heterogênea da ocorrência das doenças entre os municípios de Santa Catarina, foi empregado o método de classificação por quebras naturais (Jenks),

5.3 Resultados

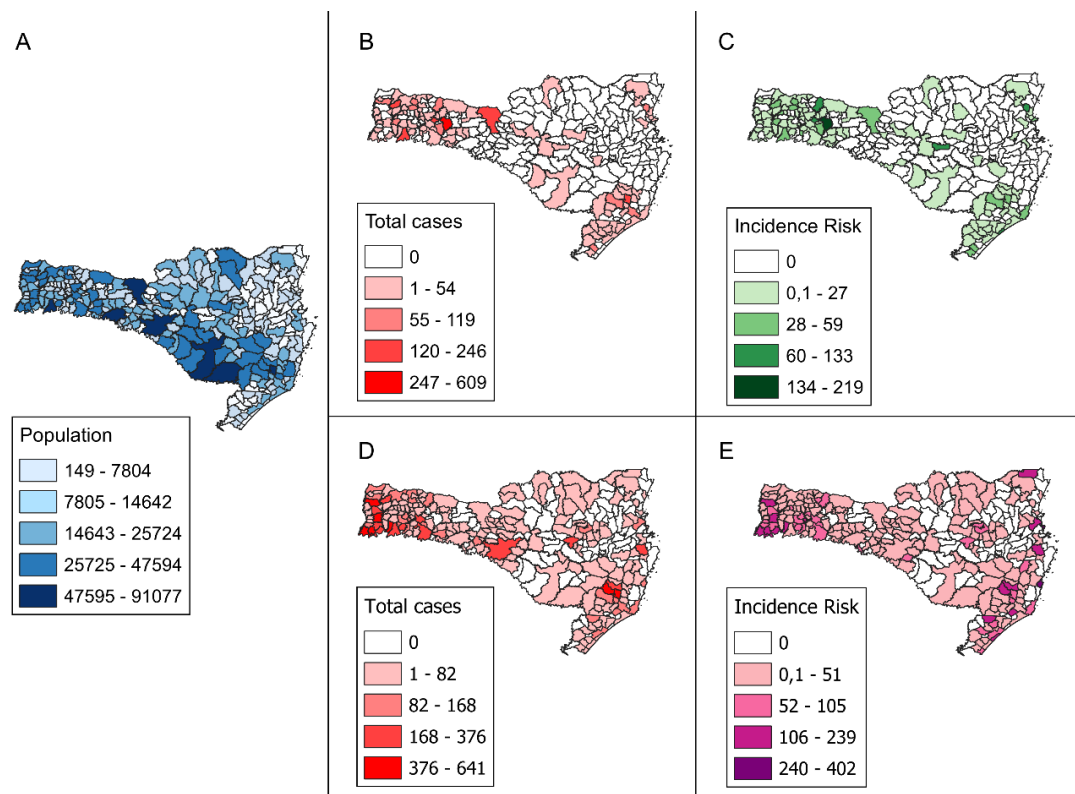
Durante o período de estudo, foram oficialmente notificados pelo Serviço Veterinário Oficial (SVO) de Santa Catarina 27.009 casos confirmados de brucelose bovina e 11.350 casos confirmados de tuberculose bovina entre 2016 e

2025. Santa Catarina manteve uma população bovina média de 4.449.559 animais, distribuídos entre seus 295 municípios. A população bovina apresentou distribuição heterogênea em todo o estado, com a maior concentração ocorrendo na mesorregião Oeste (45,6%), seguida pelas mesorregiões Serrana (17,2%), Sul Catarinense (12,2%) e Vale do Itajaí (11,3%). Em conjunto, essas mesorregiões concentraram a maior parte da população bovina do estado, refletindo a organização espacial dos sistemas de produção de carne e leite em Santa Catarina, enquanto as mesorregiões Norte, Grande Florianópolis e Meio-Oeste representaram 6,6%, 3,8% e 3,3%, respectivamente. Em nível municipal, Lages, São Joaquim, Concórdia, Água Doce, Campos Novos, Palmitos, Braço do Norte, São José do Cerrito, Guaraciaba e Urubici apresentaram as maiores populações bovinas médias durante o período de estudo. Em conjunto, esses municípios representaram aproximadamente 13,2% da população bovina do estado.

A distribuição acumulada dos casos confirmados de brucelose bovina e tuberculose bovina apresentou padrões espaciais distintos ao longo do período de estudo (Figura 2B e D). Enquanto a brucelose bovina contabilizou maior número de casos confirmados, a tuberculose bovina apresentou distribuição geográfica mais ampla em todo o estado.

O risco de incidência da brucelose bovina concentrou-se predominantemente em municípios localizados na mesorregião Oeste (Figura 2C). Em contraste, riscos elevados de incidência para tuberculose bovina foram observados não apenas na mesorregião Oeste, mas também ao longo da região litorânea do estado, particularmente entre as mesorregiões Sul Catarinense e Grande Florianópolis (Figura 2E).

Figura 2 - Distribuição espacial da população bovina (A), total de casos confirmados de brucelose bovina (B), risco de incidência da brucelose bovina por 10.000 bovinos (C), total de casos confirmados de tuberculose bovina (D) e risco de incidência da tuberculose bovina por 10.000 bovinos (E) no estado de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025

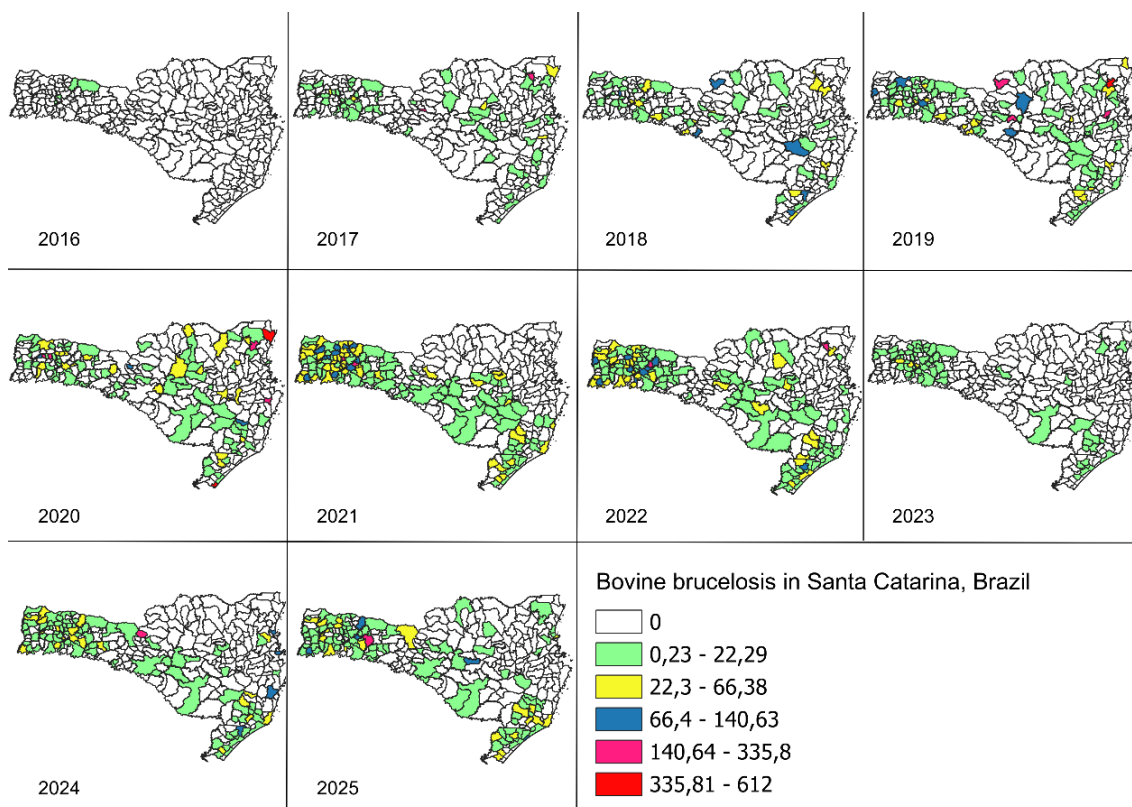


Fonte: Elaborada pela autora, 2026.

A distribuição espacial anual do risco de incidência da brucelose bovina variou ao longo do período de estudo (Figura 4). Em 2016, a doença concentrou-se em poucos municípios da mesorregião Oeste Catarinense (Abelardo Luz, Nova Erechim, São Domingos e União do Oeste). A partir de 2017, os casos passaram a ser registrados de forma mais esporádica em diferentes mesorregiões.

Em 2019, esse padrão espacial persistiu, com riscos de incidência mais elevados tornando-se mais pronunciados em municípios limítrofes. Em 2019, os maiores riscos de incidência foram registrados em Guaramirim (612 casos por 10.000 bovinos), seguido por Monte Carlo, Matos Costa e Guabiruba. Esses municípios pertencem a diferentes mesorregiões de Santa Catarina (Norte, Serrana, Oeste e Vale do Itajaí, respectivamente), indicando que, naquele ano, as áreas de maior risco estavam geograficamente dispersas, em vez de concentradas em uma única mesorregião.

Figura 3 - Distribuição espacial do risco anual de incidência da brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, no período de 2016 a 2025.



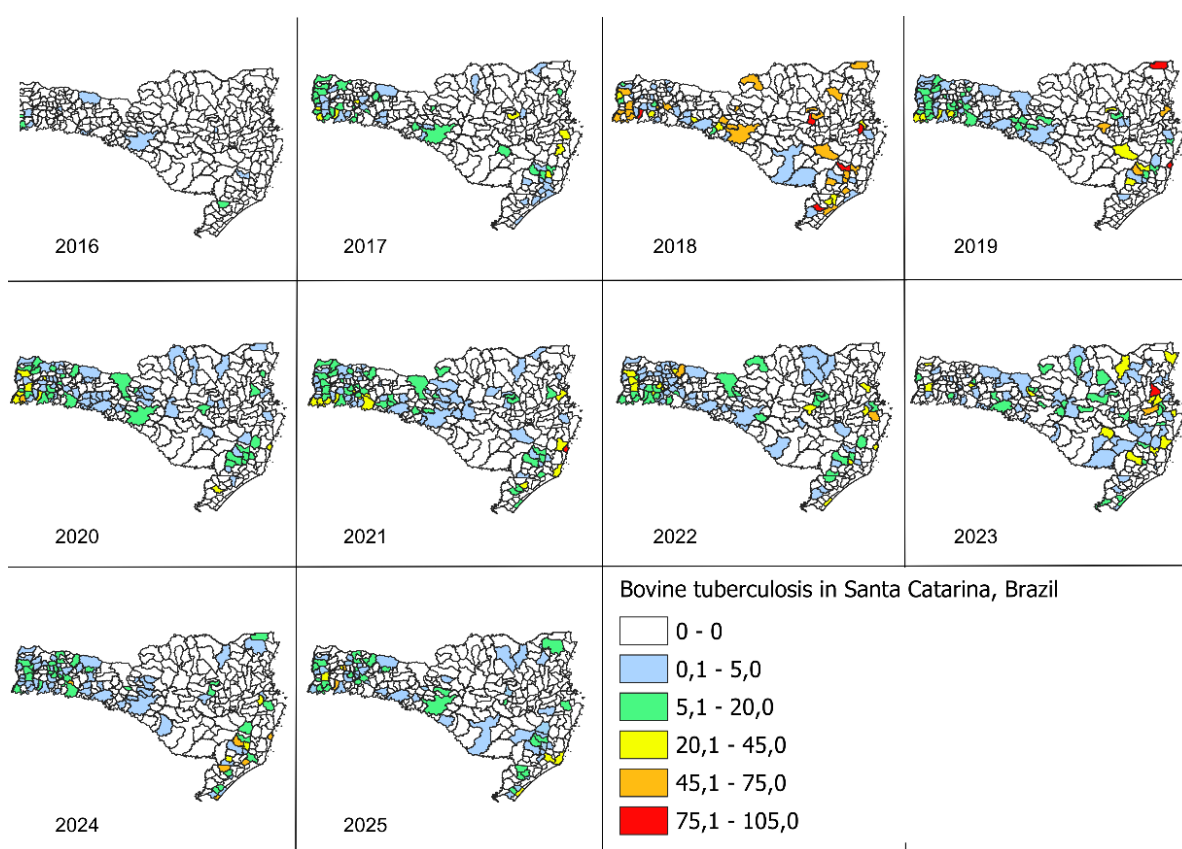
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Entre 2019 e 2025, os municípios com ocorrência de casos apresentaram, em geral, riscos de incidência mais elevados, com exceção de 2023, quando foram observados menores riscos de incidência. Padrão semelhante de heterogeneidade foi observado em 2020, embora municípios da mesorregião Oeste tenham passado a ser representados com maior frequência entre aqueles com os maiores riscos de incidência. A partir de 2021, observou-se uma mudança marcante na distribuição espacial, com os municípios que apresentaram os maiores riscos de incidência tornando-se predominantemente concentrados na mesorregião Oeste. Em 2021, todos os municípios com os maiores riscos de incidência estavam localizados nessa região, padrão que permaneceu predominante em 2022 e 2023, apesar da redução substancial na magnitude dos riscos de incidência observada neste último ano. Em contraste, 2024 foi caracterizado por uma redistribuição espacial mais ampla, com os maiores riscos de incidência distribuídos entre cinco diferentes mesorregiões e ausência de municípios da mesorregião Oeste entre as áreas de maior risco. Em 2025,

entretanto, a mesorregião Oeste voltou a predominar, enquanto municípios isolados de alto risco foram identificados nas mesorregiões Sul e Serrana.

A distribuição espacial anual do risco de incidência da tuberculose bovina também se modificou ao longo do período de estudo (Figura 4). Durante os primeiros anos avaliados (2016–2017), os municípios com registros de risco de incidência foram pouco numerosos e concentraram-se principalmente na mesorregião Oeste Catarinense.

Figura 4 - Distribuição espacial do risco anual de incidência da tuberculose bovina em Santa Catarina, Brasil, no período de 2016 a 2025.



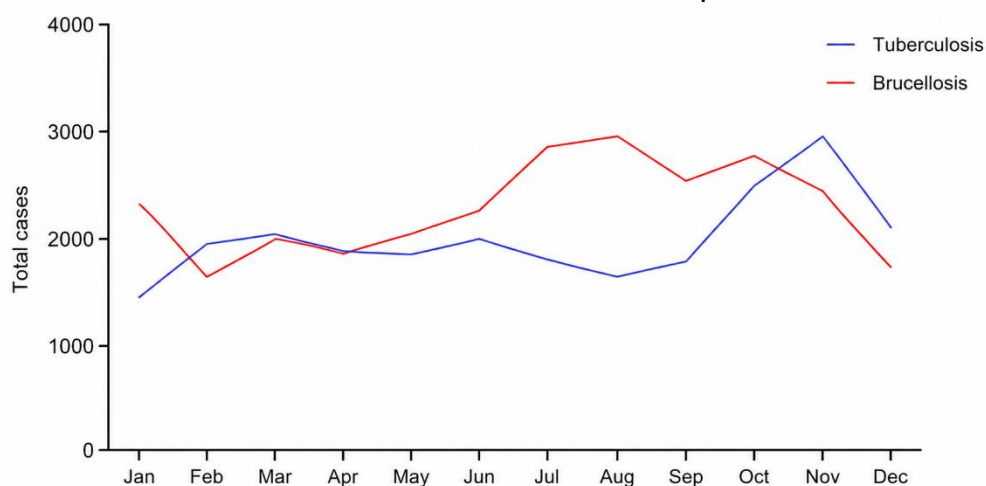
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A partir de 2018, os municípios com riscos de incidência detectados passaram a apresentar uma distribuição mais ampla em todo o estado, incluindo as mesorregiões do Vale do Itajaí, Sul Catarinense, Grande Florianópolis e Norte Catarinense. Em 2018, foi observada a maior concentração de municípios de alto risco de todo o período estudado, com riscos elevados de incidência de tuberculose identificados em todas as mesorregiões de Santa Catarina. Entre 2019 e 2025, o padrão espacial permaneceu relativamente estável, com

municípios apresentando riscos elevados de incidência de forma recorrente ao longo dos anos. Entretanto, os anos de 2021 e 2023 destacaram-se pela ocorrência de municípios isolados com riscos de incidência marcadamente elevados para tuberculose bovina. Embora um número menor de municípios tenha sido classificado nas categorias mais altas de risco de incidência em 2024 e 2025, a mesorregião Oeste Catarinense permaneceu como a principal área com ocorrência anual persistente de riscos elevados de incidência.

A distribuição mensal dos casos de brucelose e tuberculose bovinas notificados entre 2016 e 2025 está apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Distribuição mensal dos casos confirmados de brucelose bovina e tuberculose bovina em Santa Catarina, Sul do Brasil, no período de 2016 a 2025.



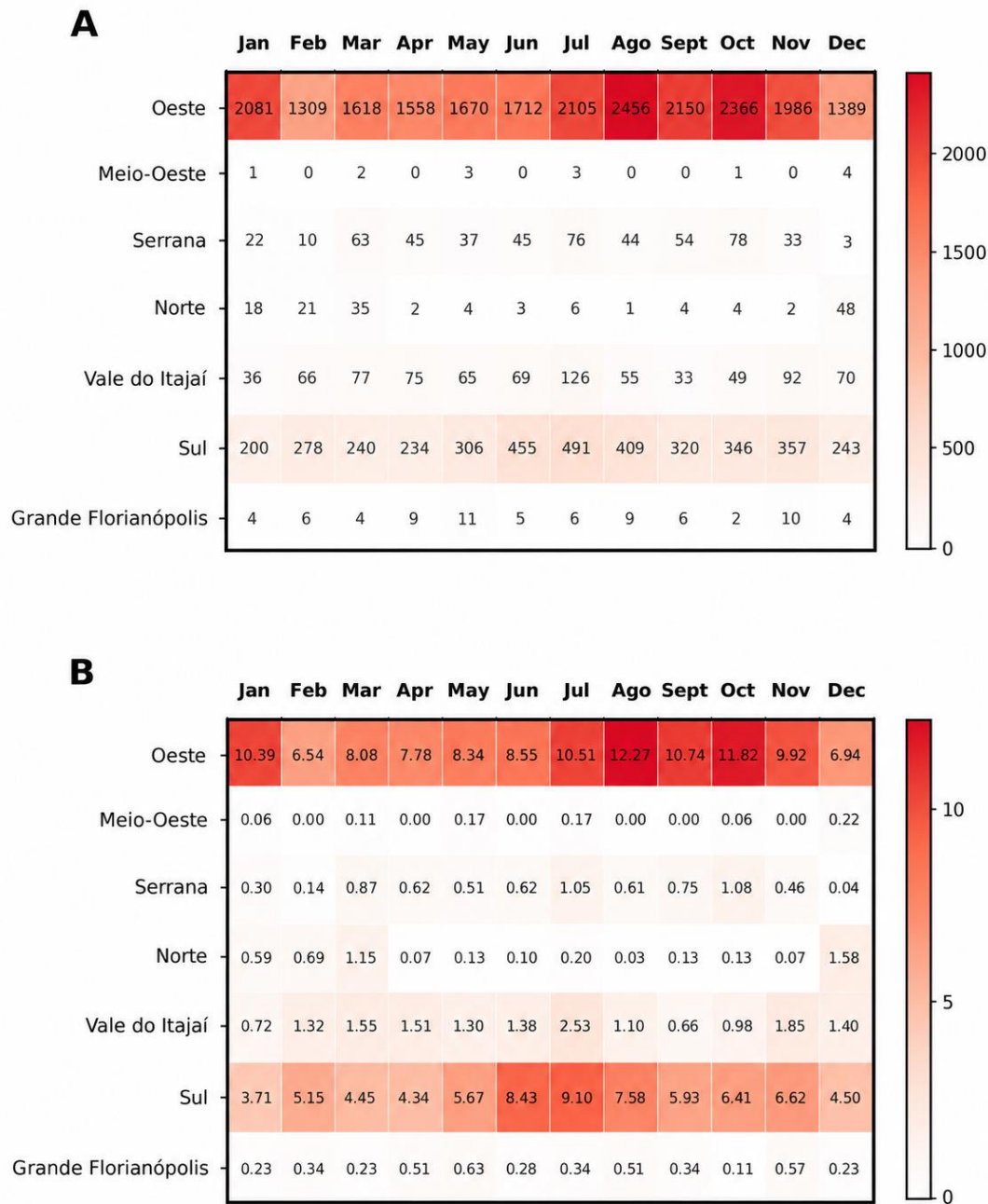
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A brucelose bovina apresentou flutuações ao longo dos meses no compilado de anos, com aumento recorrente no número de casos confirmados a partir de abril, atingindo um pico em agosto e diminuindo gradualmente até dezembro. Em contraste, a tuberculose bovina apresentou variações mensais comparativamente menores durante a maior parte do período, com aumento mais acentuado entre setembro e novembro, alcançando seu pico em novembro e reduzindo-se posteriormente. Diferentemente da brucelose, agosto correspondeu ao mês com o menor número de casos de tuberculose. Para ambas as enfermidades, as menores frequências de casos confirmados foram observadas nos primeiros e nos últimos meses do ano.

Frequências mais elevadas de casos de brucelose bovina foram observadas durante o inverno e a primavera, especialmente entre os meses de

julho e outubro, enquanto os casos de tuberculose bovina foram registrados com maior frequência durante a primavera, com pico de ocorrência em novembro.

Figura 6 - Heatmaps da distribuição dos casos de brucelose bovina nas mesorregiões de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025, segundo os meses do ano. (A) Risco de incidência (casos por 10.000 bovinos). (B) Número total de casos confirmados.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Ao considerar o risco de incidência da brucelose bovina (Figura 6), observou-se predomínio da mesorregião Oeste ao longo de todos os meses do

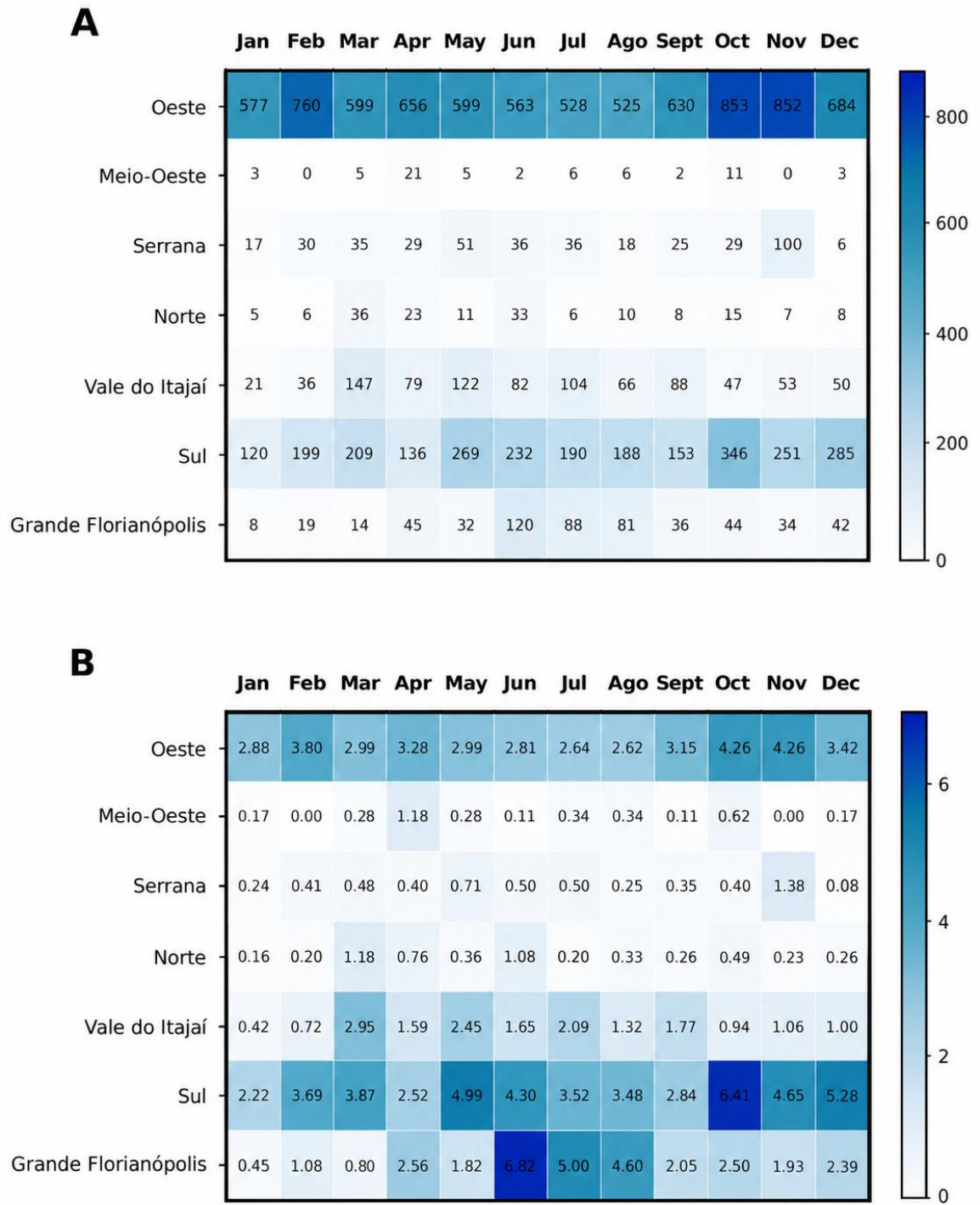
ano, com aumento gradual a partir de maio e maiores valores entre julho e outubro. A mesorregião Sul apresentou os segundos maiores riscos de incidência, especialmente entre maio e novembro, com valor máximo registrado em julho (9,10 casos por 10.000 bovinos). O Vale do Itajaí apresentou riscos intermediários durante a maior parte do período, enquanto a mesorregião Serrana registrou valores mais discretos, com pequenos aumentos entre julho e outubro.

Em relação aos casos totais de tuberculose bovina (Figura 7), variação mensal ao longo do período analisado, com os maiores totais estaduais registrados em outubro (1.345 casos) e novembro (1.297 casos). Também foram observadas frequências relativamente elevadas em maio (1.089), dezembro (1.078), junho (1.068), fevereiro (1.050) e março (1.045). Janeiro apresentou o menor número de casos (751), seguido de agosto (894). A mesorregião Oeste concentrou a maior quantidade de casos em todos os meses, representando o principal componente do padrão estadual, com máximos em outubro (853) e novembro (852). A mesorregião Sul apresentou a segunda maior concentração, destacando-se em outubro (346), dezembro (285), maio (269) e novembro (251). Nas demais mesorregiões, os aumentos foram mais pontuais: o Vale do Itajaí apresentou maior frequência em março (147), a Grande Florianópolis em junho (120) e a Serrana em novembro (100). Norte Catarinense e Meio-Oeste permaneceram com números reduzidos durante todo o período.

Quanto ao risco de incidência da tuberculose bovina (Figura 7), a distribuição mensal não acompanhou integralmente o número absoluto de casos, pois o cálculo considerou o tamanho médio da população bovina de cada mesorregião. O Oeste apresentou risco persistentemente elevado, variando de 2,62 a 4,26 casos por 10.000 bovinos, com os maiores valores em outubro e novembro. Entretanto, os maiores riscos mensais do estudo foram identificados na Grande Florianópolis em junho (6,82 casos por 10.000 bovinos) e no Sul em outubro (6,41 casos por 10.000 bovinos).

Figura 7 - Heatmaps da distribuição dos casos de tuberculose bovina nas mesorregiões de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025, segundo os meses do

ano. (A) Risco de incidência (mesmo heatmap da brucelose) (casos por 10.000 bovinos). (B) Número total de casos confirmados.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

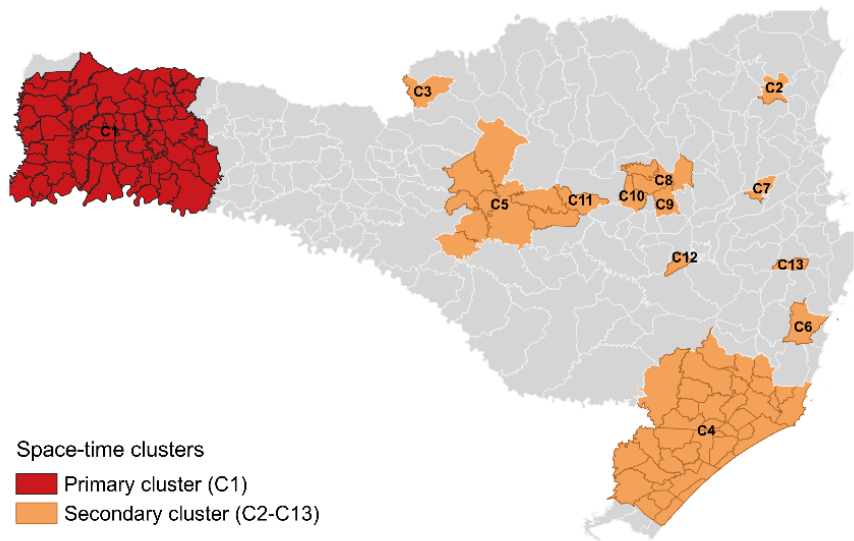
Os heatmaps evidenciaram diferenças na distribuição mensal dos casos e do risco de incidência da tuberculose bovina entre as mesorregiões de Santa Catarina ao longo do período de estudo (Figura 7). Em relação ao número total de casos (Figura 7B), a mesorregião Oeste concentrou as maiores frequências em

todos os meses do ano, com aumento progressivo a partir de abril e pico em agosto. O Vale do Itajaí apresentou o segundo maior número de casos, seguido pela mesorregião Sul, que registrou maior frequência entre junho e novembro. As mesorregiões Serrana, Norte Catarinense, Grande Florianópolis e Meio-Oeste apresentaram menores números de casos durante todo o período analisado.

Ao considerar o risco de incidência (Figura 7A), foi apresentado um padrão distinto daquele verificado para o número absoluto de casos. Embora a mesorregião Oeste tenha permanecido como a principal área de risco durante todos os meses do ano, com maior valor registrado em agosto (12,27 casos por 10.000 bovinos), a mesorregião Sul apresentou os segundos maiores riscos de incidência, especialmente entre maio e novembro, atingindo seu pico em julho (9,10 casos por 10.000 bovinos). Em contraste, o Vale do Itajaí, apesar de concentrar elevado número de casos, apresentou riscos de incidência intermediários, evidenciando que o maior número de notificações não correspondeu necessariamente ao maior risco da doença. As menores taxas de incidência foram observadas de forma consistente nas mesorregiões Meio-Oeste, Grande Florianópolis e Norte Catarinense.

A análise espaço-temporal identificou a formação de 14 clusters espaço-temporais de altas taxas de brucelose bovina em Santa Catarina durante o período de estudo de 10 anos (Figura 8, Tabela 1). Treze conglomerados apresentaram significância estatística ($p < 0,05$), enquanto o conglomerado 14 não foi estatisticamente significativo ($P = 0,846$) e, portanto, foi excluído das interpretações subsequentes.

Figura 8 – Clusters espaço-temporais de brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Tabela 1. Clusters espaço-temporais de brucelose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025.

Time Period	Cluster	RR	p-value
2017	C13	5.71	0.002
2018–2019	C3	28.27	<0.001
2019	C2	97.16	<0.001
2019	C7	35.55	<0.001
2019	C5	5.36	<0.001
2020	C9	8.99	<0.001
2020–2022	C1*	7.20	<0.001
2021	C8	4.98	<0.001
2021	C11	5.44	<0.001
2021	C12	6.50	<0.001
2021–2022	C10	3.88	<0.001
2021–2025	C4	2.02	<0.001
2024	C6	14.68	<0.001

* *Primary cluster*

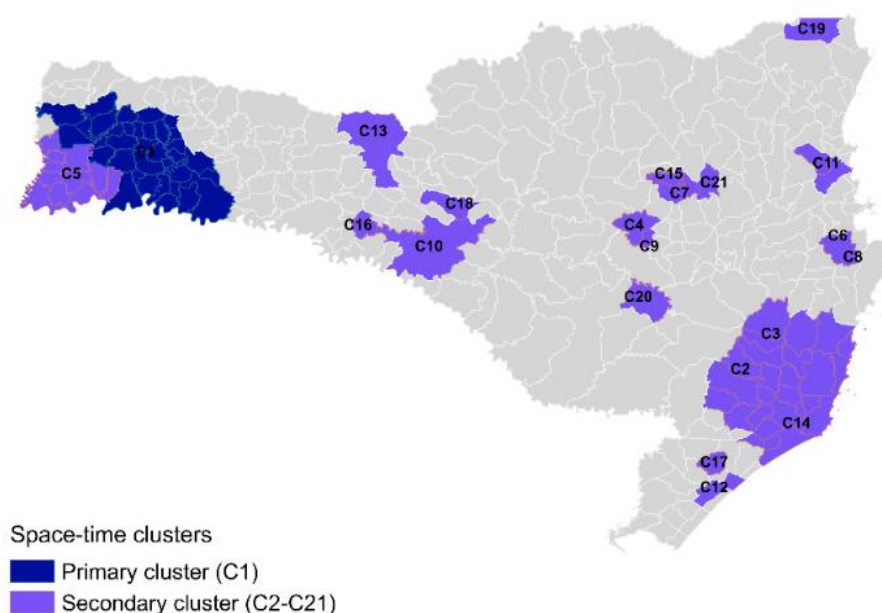
O cluster primário foi identificado na região Oeste de Santa Catarina, abrangendo 65 municípios entre 2020 e 2022. Esse conglomerado compreendeu 10.508 casos observados, com risco relativo (RR) de 7,20 e a maior razão de verossimilhança (LLR = 9.729,49), indicando a evidência estatística mais robusta de elevado risco da doença durante o período de estudo.

Foram identificados doze clusters secundários estatisticamente significativos entre 2017 e 2025, com riscos relativos variando de 2,02 a 97,16 (Tabela 1). Esses conglomerados diferiram tanto quanto ao período de ocorrência quanto à extensão espacial, abrangendo desde municípios isolados até grupos de municípios vizinhos. A maioria dos conglomerados secundários ocorreu entre 2019 e 2022, sugerindo que esse intervalo concentrou o maior número de áreas de alto risco para brucelose bovina em Santa Catarina.

Espacialmente, o cluster primário ocupou uma área contínua que compreendeu a maior parte dos municípios da mesorregião Oeste Catarinense. Os conglomerados secundários foram identificados nas mesorregiões Serrana, Vale do Itajaí, Norte Catarinense, Grande Florianópolis e Sul Catarinense, demonstrando a ocorrência de áreas localizadas de alta incidência distribuídas em diferentes regiões do estado (Figura 8).

A mesma abordagem analítica foi aplicada à tuberculose bovina para investigar a agregação espaço-temporal dos casos ao longo do período de estudo. Foram identificados 22 clusters espaço-temporais, dos quais 21 apresentaram significância estatística (Figura 9, Tabela 2)

Figura 9 - Clusters espaço-temporais da tuberculose bovina no estado de Santa Catarina, Brasil, no período de 2016 a 2025.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Tabela 2 - Clusters espaço-temporais de tuberculose bovina em Santa Catarina, Brasil, 2016-2025

Time Period	Cluster	RR	p-value
2017	C5	5.33	<0.001
2017	C7	16.25	<0.001
2017	C8	12.71	<0.001
2017	C12	8.76	<0.001
2017	C20	4.66	<0.001
2017–2020	C10	3.58	<0.001
2017–2021	C16	2.77	<0.001
2018–2019	C3	7.11	<0.001
2018–2019	C18	4.46	<0.001
2019	C4	25.10	<0.001
2019–2023	C1*	4.08	<0.001
2020–2022	C13	2.74	<0.001
2021	C14	2.03	<0.001
2021	C17	9.82	<0.001
2021–2022	C11	6.18	<0.001
2021–2022	C21	2.68	0.011
2021–2024	C15	5.39	<0.001
2022–2023	C6	13.12	<0.001
2022–2023	C9	5.52	<0.001
2023–2024	C2	9.15	<0.001
2023–2024	C19	7.46	<0.001

* Primary cluster

O cluster primário foi identificado na região Oeste de Santa Catarina e compreendeu 46 municípios no período de 2019 a 2023. Esse cluster incluiu 3.861 casos observados, risco relativo (RR) de 4,08 e a maior razão de verossimilhança logarítmica (LLR = 2.111,13), indicando a evidência estatística mais robusta de risco elevado da doença identificada na análise. A maioria dos clusters secundários estatisticamente significativos foi identificada entre 2017 e 2023, com vários deles persistindo por dois ou mais anos consecutivos. Espacialmente, esses clusters distribuíram-se por diferentes mesorregiões de Santa Catarina, incluindo Oeste, Serrana, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis, Sul e Norte, evidenciando uma distribuição fragmentada das áreas de maior risco ao longo do estado.

A análise de tendência temporal revelou padrões temporais significativos na ocorrência da brucelose bovina (Tabela 3) e da tuberculose bovina (Tabela 4) nos municípios de Santa Catarina entre 2016 e 2025. Para a brucelose bovina,

tendências significativas foram identificadas em 16,9% (50/295) dos municípios, enquanto a tuberculose bovina apresentou tendências temporais significativas em 15,6% (46/295) dos municípios. Em ambas as enfermidades, foram observadas tendências crescentes e decrescentes do risco de incidência, evidenciando acentuada heterogeneidade espacial em todo o estado.

A brucelose bovina apresentou predomínio de municípios com tendência crescente do risco de incidência nas mesorregiões Sul (n = 9), Oeste (n = 8) e Meio-Oeste (n = 8), enquanto tendências crescentes foram menos frequentes nas mesorregiões Vale do Itajaí (n = 3), Norte Catarinense (n = 2), Grande Florianópolis (n = 2) e Serrana (n = 1). Em contraste, a tuberculose bovina apresentou distribuição geográfica mais ampla dos municípios com tendências temporais significativas, abrangendo todas as mesorregiões de Santa Catarina. As maiores concentrações foram observadas nas mesorregiões Oeste (n = 16) e Sul (n = 14), seguidas pelo Vale do Itajaí (n = 6), Grande Florianópolis (n = 5), Norte Catarinense (n = 4), enquanto as mesorregiões Meio-Oeste (n = 2) e Serrana (n = 2) apresentaram menor número de municípios com alterações temporais significativas.

Os municípios que apresentaram os maiores valores de variação percentual anual (APC), juntamente com a direção da tendência e a respectiva significância estatística, estão apresentados na Tabela 3 para a brucelose bovina e na Tabela 5 para a tuberculose bovina.

Tabela 3 - Análise de regressão Joinpoint das tendências temporais do risco de incidência da brucelose bovina (por 10.000 bovinos) nos municípios de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025

Municipalities	APC	p-value	Trend
Abdon Batista	9.6*	0.008	Increasing
Água Doce	95.6*	0.001	Increasing
Armazém	47.9*	0.003	Increasing
Balneário Gaivota	-22.6*	0.034	Decreasing
Balneário Rincão	122.9*	0.0006	Increasing
Bandeirante	64.0*	0.014	Increasing
Barra Velha	44.3*	0.002	Increasing
Belmonte	23.9*	0.008	Increasing
Bom Jesus do Oeste	-43.0*	0.038	Decreasing
Braço do Norte	60.5*	0.0006	Increasing
Celso Ramos	5.78*	0.047	Increasing
Curitibanos	20.5*	0.048	Increasing

Fraiburgo	35.5*	0.003	Increasing
Gaspar	29.3*	0.025	Increasing
Guaramirim	-52.0*	0.0008	Decreasing
Ibicaré	5.7*	0.047	Increasing
Ilhota	70.9*	0.028	Increasing
Iraceminha	49.8*	0.011	Increasing
Irineópolis	-35.4*	0.021	Decreasing
Jaguaruna	51.4*	0.012	Increasing
Jaraguá do Sul	-51.3*	0.025	Decreasing
Joinville	33.2*	0.042	Increasing
Lacerdópolis	-45.1*	0.049	Decreasing
Lauro Muller	36.2*	0.027	Increasing
Lindóia do Sul	34.2*	0.021	Increasing
Macieira	170.6*	0.004	Increasing
Maravilha	78.0*	0.032	Increasing
Morro Grande	40.3*	0.003	Increasing
Nova Trento	-35.9*	0.019	Decreasing
Paulo Lopes	63.2*	0.009	Increasing
Pedras Grandes	67.9*	0.002	Increasing
Penha	102.0*	0.0004	Increasing
Pinheiro Preto	-70.4*	0,0005	Decreasing
Porto Belo	150.4*	0.004	Increasing
Princesa	38.3*	0.009	Increasing
Rancho Queimado	-18.4*	0.036	Decreasing
Rio Fortuna	24.0*	0.027	Increasing
São Bonifácio	-27.2*	0.025	Decreasing
São Cristóvão do Sul	31.8*	0.034	Increasing
São Domingos	21.9*	0.043	Increasing
São João do Sul	46.9*	0.010	Increasing
São José do Cerrito	47.2*	0.009	Increasing
São Pedro de Alcântara	-50.7*	0.006	Decreasing
Sombrio	-43.2*	0.008	Decreasing
Tigrinhos	-45.6*	0.022	Decreasing
Tijucas	-18.4*	0.036	Decreasing
Treviso	36.1*	0.011	Increasing
Treze de Maio	-22.7*	0.025	Increasing
Vitor Meireles	-43.1*	0.007	Decreasing
Xanxerê	148.0*	0.0004	Increasing

*: significant trend; APC: annual percentage variation; 95% CI: 95% confidence interval.

Os maiores aumentos anuais foram observados nos municípios de Macieira (APC = 170,6%), Porto Belo (APC = 150,4%), Xanxerê (APC = 148,0%), Balneário Rincão (APC = 122,9%), Penha (APC = 102,0%) e Água Doce (APC = 95,6%). A distribuição espacial dos municípios com tendências crescentes revelou maior concentração nas mesorregiões Sul, Oeste e Meio-Oeste de Santa Catarina. Na mesorregião Oeste, destacaram-se municípios como Xanxerê, Maravilha, Iraceminha, Bandeirante, Lindóia do Sul e São Domingos. Na mesorregião

Serrana, municípios como Abdon Batista, Celso Ramos, Curitibanos, Fraiburgo e São José do Cerrito. Também foram identificados municípios com tendências decrescentes significativas, destacando-se, Pinheiro Preto (APC = -70.4%), Guaramirim (APC = -52.0%), São Pedro de Alcântara (APC = -50.7%), Braço do Norte (APC = -43.0%), Sombrio (APC = -43.2%), and Vitor Meireles (APC = -43.1%).

Tabela 4 - Análise de regressão Joinpoint das tendências temporais do risco de incidência da tuberculose bovina (por 10.000 bovinos) nos municípios de Santa Catarina, Brasil, entre 2016 e 2025.

Municipalities	APC	p-value	Trend
Abdon Batista	70.1*	0.017	Increasing
Agrolândia	-20.89*	0.007	Decreasing
Águas Frias	111.4*	0.005	Increasing
Águas Mornas	131.3*	0.004	Decreasing
Alfredo Wagner	80.0*	0.007	Increasing
Angelina	102.1*	0.005	Increasing
Araranguá	46.3*	0.005	Increasing
Armazém	-37.2*	0.015	Decreasing
Arroio Trinta	-32.0*	0.020	Decreasing
Arvoredo	23.3*	0.034	Increasing
Balneário Barra do Sul	60.2*	0.048	Increasing
Balneário Camboriú	37.9*	0.038	Increasing
Balneário Gaivota	-25.5*	0.021	Decreasing
Barra Bonita	45.3*	0.043	Increasing
Bocaina do Sul	-38.9*	0.008	Decreasing
Braço do Norte	17.8*	0.043	Increasing
Descanso	-15.7*	0.025	Increasing
Içara	49.8*	0.044	Increasing
Ipuaçu	-22.2*	0.039	Decreasing
Irati	33.7*	0.008	Increasing
Jaraguá do Sul	-51.3*	0.025	Decreasing
Jardinópolis	56.3*	0.001	Increasing
Joinville	40.5*	0.007	Increasing
Lages	16.7*	0.022	Increasing
Laurentino	-10.9*	0.021	Increasing
Marema	68.4*	0.037	Increasing
Meleiro	46.1*	0.011	Increasing
Modelo	38.3*	0.005	Increasing
Nova Itaraba	41.6*	0.004	Increasing
Ouro Verde	57.2*	0.0005	Increasing
Passo de Torres	91.9*	0.009	Increasing
Pedras Grandes	5.8*	0.047	Increasing
Planalto Alegre	-43.1*	0.007	Decreasing
Pouso Redondo	-34.2*	0.048	Decreasing
Presidente Getúlio	-32.0*	0.015	Decreasing

Rio Negrinho	27.7*	0.015	Increasing
Romelândia	23.0*	0.026	Increasing
Saltinho	45.2*	0.017	Decreasing
Santa Rosa de Lima	7.2*	0.039	Increasing
Santa Rosa do Sul	53.0*	0.005	Increasing
Santa Terezinha do Progresso	20.7*	0.020	Increasing
Santo Amaro da Imperatriz	-45.1*	0.006	Increasing
São Martinho	-35.5*	0.022	Increasing
Sombrio	35.9*	0.009	Increasing
Sul Brasil	43.2*	0.007	Increasing
Treviso	71.2*	0.006	Increasing
Treze de Maio	44.5	0.010	Increasing
Tubarão	106.5*	0.0008	Increasing
Vitor Meireles	-43.1*	0.007	Decreasing

*:significant trend; APC: annual percentage variation; 95% CI: 95% confidence interval.

Na análise de tendência temporal da tuberculose bovina, os maiores valores de variação percentual anual (Annual Percent Change – APC) foram observados nos municípios de Águas Mornas (131,3%), Águas Frias (111,4%), Tubarão (106,5%), Angelina (102,1%), Passo de Torres (91,9%), Alfredo Wagner (80,0%), Treviso (71,2%), Abdon Batista (70,1%) e Marema (68,4%), refletindo aumentos expressivos no risco de incidência da tuberculose bovina ao longo do período de estudo. Em contrapartida, tendências decrescentes significativas foram identificadas nos municípios de Jaraguá do Sul (APC = -51,3%), Santo Amaro da Imperatriz (APC = -45,1%), Vitor Meireles (APC = -43,1%), Planalto Alegre (APC = -43,1%), Bocaina do Sul (APC = -38,9%), São Martinho (APC = -35,5%), Pouso Redondo (APC = -34,2%), Presidente Getúlio (APC = -32,0%), Balneário Gaivota (APC = -25,5%) e Agrolândia (APC = -20,9%), demonstrando que reduções significativas no risco de incidência também ocorreram em municípios específicos ao longo do estado.

5.4 Discussão

A distribuição espacial da brucelose bovina evidenciou marcada heterogeneidade em Santa Catarina, com concentração dos maiores riscos de incidência principalmente nas mesorregiões Oeste e Sul. Embora casos confirmados tenham sido registrados em diversos municípios, a ocorrência da doença não foi proporcional ao tamanho da população bovina, demonstrando que a magnitude do rebanho, isoladamente, não explica o padrão epidemiológico observado.

Esse resultado é consistente com o perfil produtivo da região Oeste, reconhecida como a principal bacia leiteira de Santa Catarina (IBGE, 2024; EPAGRI/CEPA, 2024). Sistemas intensivos de produção leiteira caracterizam-se por elevada movimentação de animais, reposição frequente dos rebanhos, manejo reprodutivo intensivo e introdução contínua de animais destinados à reprodução, fatores amplamente reconhecidos como determinantes da manutenção e disseminação da brucelose bovina (ACHA; SZYFRES, 2001; BAUMGARTEN et al., 2016; ROCHA et al., 2024). Estudos realizados no Brasil e em outros países também demonstraram associação entre a intensificação da produção leiteira, a movimentação de bovinos e o aumento da ocorrência da enfermidade (RIBEIRO et al., 2020; YU et al., 2023).

Outro aspecto relevante foi a identificação de municípios com rebanhos relativamente pequenos apresentando elevados riscos de incidência, apesar do baixo número absoluto de casos. Esse achado reforça a importância da utilização de indicadores ajustados à população sob risco, em vez da interpretação baseada exclusivamente na frequência absoluta de casos, permitindo identificar áreas prioritárias para vigilância epidemiológica mesmo em regiões com efetivos bovinos reduzidos (ABOUSHADY et al., 2025; HAMPTON et al., 2011).

A análise da distribuição anual do risco de incidência demonstrou ainda que, embora tenha ocorrido variação espacial ao longo do período estudado, os municípios de maior risco permaneceram concentrados predominantemente na região Oeste durante a maior parte da série histórica. Em conjunto, esses resultados indicam que a brucelose bovina mantém um padrão espacial persistente em áreas específicas do estado, compatível com o caráter focal da enfermidade em cenários de baixa prevalência (WISEMAN et al., 2024).

A distribuição mensal dos casos revelou que a brucelose bovina apresentou aumento progressivo das notificações a partir de abril, com maior concentração entre os meses de julho e outubro e pico em agosto. Esse comportamento contrasta com o observado para a tuberculose bovina, cuja maior frequência ocorreu apenas nos meses de primavera, evidenciando diferenças importantes na dinâmica de detecção das duas enfermidades.

As oscilações mensais observadas devem ser interpretadas com cautela, uma vez que a brucelose bovina é uma enfermidade crônica e os dados analisados correspondem aos casos detectados pela vigilância oficial, e não ao

momento em que ocorreu a infecção. Assim, a distribuição mensal dos casos provavelmente reflete diferenças na oportunidade de diagnóstico e notificação, influenciadas pelas atividades de vigilância e pelos eventos clínicos que motivam a investigação da doença, mais do que uma sazonalidade biológica propriamente dita.

A análise espaço-temporal demonstrou que a brucelose bovina não se distribuiu aleatoriamente em Santa Catarina, mas concentrou-se em clusters de alto risco bem definidos. Esse padrão reforça o caráter focal da enfermidade em cenários de baixa prevalência, nos quais áreas específicas mantêm risco persistentemente superior ao esperado, em vez de uma distribuição homogênea em todo o território. Agregações espaciais semelhantes foram descritas em estudos conduzidos no Brasil (RIBEIRO et al., 2020) e em outros países (YU et al., 2023), evidenciando a utilidade das análises de clusters para a identificação de áreas prioritárias para vigilância e controle.

O cluster primário, localizado na região Oeste de Santa Catarina, abrangeu extensa área geográfica e permaneceu significativo entre 2020 e 2022, indicando persistência temporal do elevado risco nessa região. Esse resultado é coerente com as características produtivas do Oeste catarinense, onde se concentra importante parcela da produção leiteira estadual e predominam sistemas caracterizados por elevada movimentação de animais, reposição frequente de rebanhos e intenso manejo reprodutivo, fatores reconhecidamente associados ao maior risco de ocorrência da brucelose bovina (ACHA; SZYFRES, 2001; BAUMGARTEN et al., 2016; ROCHA et al., 2024).

Embora o cluster primário tenha abrangido um grande número de municípios, diversos clusters secundários restringiram-se a um único município e apresentaram riscos relativos substancialmente superiores, especialmente os clusters 2, 3 e 7. Esses resultados demonstram que municípios geograficamente pequenos podem apresentar risco muito superior ao esperado, ressaltando a importância de considerar indicadores ajustados à população e análises espaço-temporais na definição de áreas prioritárias para vigilância epidemiológica.

A maior parte dos clusters foi identificada entre 2019 e 2022, período que pode refletir intensificação das atividades de vigilância, ampliação da cobertura diagnóstica ou fortalecimento das medidas de controle.

A análise de tendência temporal complementou os resultados da análise espaço-temporal ao demonstrar que alterações significativas no risco de incidência ocorreram apenas em uma pequena proporção dos municípios catarinenses. Embora a maioria tenha permanecido estável durante o período estudado, a identificação de tendências crescentes e decrescentes em localidades específicas evidencia que a dinâmica da brucelose bovina permanece heterogênea, mesmo em um estado com baixa prevalência da doença.

Os municípios com tendência crescente (Macieira, Porto Belo, Xanxerê, Balneário Rincão, Penha e Água Doce), refletindo incrementos expressivos do risco de incidência ao longo da série histórica. concentraram-se predominantemente nas mesorregiões Sul, Oeste e Meio-Oeste, regiões que abrigam importantes polos de produção pecuária e leiteira. Por outro lado, municípios como Pinheiro Preto, Guaramirim, São Pedro de Alcântara, Tigrinhos e Bom Jesus do Oeste apresentaram tendências decrescentes significativas, sugerindo redução do risco de incidência ao longo do período analisado.

A distribuição espacial da tuberculose bovina também apresentou acentuada heterogeneidade em Santa Catarina, porém com padrão distinto daquele observado para a brucelose. Os maiores riscos de incidência encontravam-se distribuídos por diferentes mesorregiões do estado, abrangendo municípios das regiões Oeste, Sul, Norte, Serrana, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis.

Diferentemente da brucelose bovina, cuja transmissão está fortemente relacionada aos eventos reprodutivos (KHAIRULLAH et al., 2024; XIAO et al., 2022), a tuberculose bovina é transmitida predominantemente pelo contato respiratório prolongado entre animais infectados e suscetíveis (ALLEN et al., 2021). Assim, fatores como densidade dos rebanhos, condições de alojamento, permanência prolongada dos animais em ambientes compartilhados e a presença de animais cronicamente infectados tendem a exercer maior influência sobre sua distribuição espacial (COWIE et al., 2014). Essas características ajudam a explicar por que alguns municípios com efetivos bovinos relativamente reduzidos apresentaram elevados riscos de incidência, apesar do pequeno número absoluto de casos.

Quanto a distribuição anual do risco de incidência demonstrou que, embora tenham ocorrido oscilações ao longo do período estudado, áreas de maior risco

permaneceram distribuídas em diferentes regiões do estado. Em conjunto, esses resultados sugerem que a tuberculose bovina apresenta um padrão espacial mais disperso do que a brucelose, compatível com a persistência de áreas localizadas de maior risco em diferentes mesorregiões (WOAH, 2024; WISEMAN et al., 2024).

A análise espaço-temporal corroborou esse padrão ao identificar elevado número de clusters de alto risco distribuídos por diferentes regiões de Santa Catarina. Em comparação com a brucelose bovina, a tuberculose apresentou maior número de clusters estatisticamente significativos, porém com menor extensão geográfica, evidenciando maior dispersão espacial das áreas de risco.

O cluster primário compreendeu extensa área da região Oeste e permaneceu significativo durante cinco anos consecutivos. Embora tenha apresentado risco relativo inferior ao de diversos clusters secundários, sua ampla abrangência espacial e persistência temporal sugerem manutenção prolongada de elevado risco na região. Em contrapartida, os clusters 4, 6, 7 e 8 apresentaram riscos relativos substancialmente mais elevados, apesar de envolverem apenas um único município ou reduzido número de municípios, indicando áreas onde o número de casos observados foi muito superior ao esperado e que, portanto, devem ser consideradas prioritárias para investigação epidemiológica e intensificação das ações de vigilância.

A maior concentração de clusters entre 2017 e 2023 pode refletir períodos de intensificação das ações de vigilância, ampliação da cobertura diagnóstica e fortalecimento das estratégias de controle. Em Santa Catarina, esse intervalo coincide com a implementação de normativas estaduais voltadas ao aprimoramento da vigilância da tuberculose bovina, incluindo a utilização do ELISA em saneamentos de foco, o monitoramento sanitário de propriedades leiteiras e a adoção do calendário estadual de testagens, medidas que podem ter aumentado a oportunidade de detecção de animais positivos (SANTA CATARINA, 2020a, 2020b).

A análise de tendência temporal demonstrou que apenas 15,6% dos municípios catarinenses (46/295) apresentaram alterações significativas no risco de incidência da tuberculose bovina durante o período estudado. Diferentemente da brucelose, os municípios com tendências crescentes encontravam-se distribuídos em praticamente todas as mesorregiões do estado, indicando padrão

geográfico mais amplo e coerente com a distribuição observada nos mapas de risco e na análise espaço-temporal.

Os maiores aumentos do risco de incidência foram observados nos municípios de Águas Mornas, Águas Frias, Tubarão, Angelina, Passo de Torres, Alfredo Wagner, Treviso, Abdon Batista e Marema, enquanto municípios como Jaraguá do Sul, Santo Amaro da Imperatriz, Vitor Meireles, Planalto Alegre e Bocaina do Sul apresentaram tendências decrescentes significativas. Assim como observado para a brucelose, esses resultados devem ser interpretados com cautela, pois diferenças na intensidade da vigilância, cobertura diagnóstica e o reduzido número de casos registrados em municípios de baixa ocorrência podem influenciar as estimativas de tendência.

A concordância observada entre os municípios com tendência crescente do risco de incidência e aqueles pertencentes aos clusters espaço-temporais de alto risco reforça a consistência dos resultados obtidos por diferentes abordagens analíticas. A integração entre os mapas de risco, a análise de tendência temporal e a detecção de clusters permitiu identificar municípios e regiões que apresentaram risco persistentemente elevado ao longo do período estudado, fornecendo informações relevantes para o direcionamento de estratégias de vigilância baseada em risco e para a otimização das ações do Serviço Veterinário Oficial.

5.5 Conclusão

A integração das análises de distribuição espacial, tendência temporal e detecção de clusters espaço temporais permitiu caracterizar de forma abrangente a dinâmica epidemiológica da brucelose bovina e da tuberculose bovina em Santa Catarina entre 2016 e 2025. Embora ambas as enfermidades ocorram em um cenário de baixa prevalência, apresentaram padrões epidemiológicos distintos, caracterizados por distribuição espacial heterogênea, variações temporais localizadas e áreas persistentes de maior risco. A concordância entre os resultados obtidos pelos mapas de risco, pela e pela análise espaço-temporal reforça a robustez dos achados e evidencia que a utilização integrada dessas abordagens fornece informações complementares para a identificação de áreas prioritárias para vigilância, permitindo direcionar de forma mais eficiente as atividades de monitoramento, diagnóstico e controle. Fornecer dados para orientar

políticas públicas e ações de defesa sanitária animal, como a aplicação da Vigilância baseada em Risco dentro do PNCEBT.

Referências

ABOUSHADY, A. T.; MANSOUR, F.; EL MAGHRABY, M.; TEIXEIRA, B.; CUNHA, S.; DANTAS, M. M.; et al. The use of SaTScan software to map spatiotemporal trends and detect disease clusters: a systematic review. *Communications Medicine*, 2025.

ACHA, P. N.; SZYFRES, B. *Zoonoses and communicable diseases common to man and animals*. 3. ed. Washington, DC: Pan American Health Organization, 2001. v. 1. (Scientific and Technical Publication, n. 580).

ALLEN, A. R.; FORD, T.; SKUCE, R. A. Does *Mycobacterium tuberculosis* var. *bovis* survival in the environment confound bovine tuberculosis control and eradication? A literature review. *Veterinary Medicine International*, v. 2021, art. 8812898, 2021. DOI: 10.1155/2021/8812898.

ALMASHHADANY, D. A.; ZEFENKEY, Z. F.; HASSANNEJAD, S.; MOHAMMED, N. J.; RASHID, R. F.; HASSAN, R. R.; et al. Milk borne brucellosis. In: IBRAHIM, S. A. (ed.). *Current Issues and Advances in the Dairy Industry*. London: IntechOpen, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.1091247.

BAUMGARTEN, K. D.; VELOSO, F. P.; GRISI-FILHO, J. H. H.; FERREIRA, F.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; GONÇALVES, V. S. P.; FERREIRA NETO, J. S. Prevalence and risk factors for bovine brucellosis in the State of Santa Catarina, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 37, n. 5, Supl. 2, p. 3425–3436, 2016. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n5Supl2p3425.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 2, de 10 de janeiro de 2001. Institui o Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT). *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 11 jan. 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 30, de 7 de junho de 2006. Estabelece normas para habilitação de médicos veterinários no âmbito do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jun. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 10, de 3 de março de 2017. Aprova o Regulamento Técnico do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT) e a classificação das unidades da Federação de acordo com o grau de risco para as doenças brucelose e tuberculose. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Saúde Animal. *Manual do médico veterinário habilitado*. Brasília, DF: MAPA, 2024

COWIE, C. E.; MARREOS, N.; GORTÁZAR, C.; JAROSO, R.; WHITE, P. C. L.; BALSEIRO, A. Shared risk factors for multiple livestock diseases: a case study of bovine tuberculosis and brucellosis. *Research in Veterinary Science*, v. 97, n. 3, p. 491–497, 2014. DOI: 10.1016/j.rvsc.2014.09.002

EPAGRI/CEPA. *Desempenho da agropecuária e do agronegócio de Santa Catarina: 2024*. Boletim Técnico, n. 225. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2025.

HAMPTON, K. H.; SERRE, M. L.; GESINK, D. C.; PILCHER, C. D.; MILLER, W. C. Adjusting for sampling variability in sparse data: geostatistical approaches to disease mapping. *International Journal of Health Geographics*, London, v. 10, art. 54, 2011. DOI: 10.1186/1476-072X-10-54.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). *Pesquisa da Pecuária Municipal 2022*. In: *Anuário Estatístico do Brasil 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Tabela 3.5.1.1 – Livestock population by Major Regions and Federative Units.

JOINPOINT Regression Program. Version 5.4.0. Bethesda, MD: National Cancer Institute, 2024. Disponível em: <https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/>.

JORGI, G.; SCHWARZ, D. G. G. Análise da dispersão geográfica e temporal da brucelose e tuberculose bovina em Santa Catarina. In: **SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 34., 2024, Lages. *Anais [...]* Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2024.

KHAIRULLAH, A. R.; MOSES, I. B.; KUSALA, M. K. J.; TYASNINGSIH, W.; AYUTI, S. R.; RANTAM, F. A.; FAUZIAH, I.; SILAEN, O. S. M.; PUSPITASARI, Y.; ARYALOKA, S.; RAHARJO, H. M.; HASIB, A.; YANESTRIA, S. M.; NURHIDAYAH, N. Unveiling insights into bovine tuberculosis: a comprehensive review. *Open Veterinary Journal*, v. 14, n. 6, p. 1330-1344, 2024. DOI: 10.5455/OVJ.2024.v14.i6.2

KIM, H. J.; FAY, M. P.; FEUER, E. J.; MIDTHUNE, D. N. Permutation tests for joinpoint regression with applications to cancer rates. *Statistics in Medicine*, Chichester, v. 19, n. 3, p. 335–351, 2000.

KULLDORFF, M. SaTScan™: software for the spatial and space-time scan statistics. Version 10.1. Boston: Harvard Medical School, 2023.

LOKAMAR, P. N.; KUTWAH, M. A.; ATIELI, H.; GUMO, S.; OUMA, C. Socio-economic impacts of brucellosis on livestock production and reproduction performance in Koibatek and Marigat regions, Baringo County, Kenya. *BMC Veterinary Research*, v. 16, n. 1, art. 61, 2020. DOI: 10.1186/s12917-020-02283-w.

OLSEN, S. C.; PALMER, M. V. Advancement of knowledge of *Brucella* over the past 50 years. *Veterinary Pathology*, v. 51, p. 1076–1089, 2014.

PEREIRA, C. R.; COTRIM DE ALMEIDA, J. V. F.; CARDOSO DE OLIVEIRA, I. R.; FARIA DE OLIVEIRA, L.; PEREIRA, L. J.; ZANGERONIMO, M. G.; et al. Occupational exposure to *Brucella* spp.: A systematic review and meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 14, n. 5, e0008164, 2020. DOI: 10.1371/journal.pntd.0008164.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS Geographic Information System*. Version 3.38. Beaverton: Open Source Geospatial Foundation, 2023.

RIBEIRO, C. M.; CARVALHO, J. L. B.; BASTOS, P. A. S.; MENDES, R. G.; KATAGIRI, S.; COSTA, V. M. Spatial and temporal trend analysis of bovine brucellosis in Brazil, 2014 to 2018. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 41, n. 4, p. 1279-1289, 2020. DOI:10.5433/1679-0359.2020v41n4p1279

ROCHA, I. D. S.; CLEMENTINO, I. J.; SOUSA, D. L. C.; ALVES, C. J.; SANTOS, C. S. A. B.; AZEVEDO, S.S. Distribution, seroprevalence and risk factors for bovine brucellosis in Brazil: official data, systematic review and meta-analysis. *Revista Argentina de Microbiología*, v. 56, n. 2, p. 153–164, 2024. DOI: 10.1016/j.ram.2023.08.002

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. **Portaria SAR n.º 44, de 16 de dezembro de 2020**. Institui normas complementares para o cadastro da produção leiteira e para o controle da brucelose e tuberculose em propriedades leiteiras. Florianópolis: Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural, 2020a.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. **Portaria SAR nº 32, de 15 de outubro de 2020**. Autoriza o teste de imunoensaio enzimático (ELISA) para diagnóstico sorológico da tuberculose animal, por meio de kit registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para uso nas ações do Programa Estadual de Erradicação da Tuberculose Animal e estabelece a obrigatoriedade da realização do diagnóstico sorológico por ELISA em paralelo ao teste de tuberculinização para o saneamento de focos de tuberculose. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, 2020b.

SCHWARZ, D. G. G.; SOUSA JÚNIOR, P. F.; SILVA, L. S.; POLVEIRO, R. C.; OLIVEIRA, J. F.; FARIA, M. P. O.; MARINHO, G. L. O. C.; OLIVEIRA, R. P.; MOREIRA, M. A. S. Spatiotemporal distribution and temporal trends of brucellosis and tuberculosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Brazil, 2021.

STÄRK, K. D. C.; REGULA, G.; HERNANDEZ, J.; KNOPF, L.; FUCHS, K.; MORRIS, R. S.; DAVIES, P. Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: review of current approaches. *BMC Health Services Research*, London, v. 6, art. 20, 2006. DOI: 10.1186/1472-6963-6-20.

WILLGERT, K.; CLIFF, M.; MEINKE, S.; MESSINA, D.; BROOM, D. M.; WOOD, J.; et al. Burden of bovine tuberculosis on animal health, welfare and production: A systematic review. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2025:6541298.

WISEMAN, J.; CASSIDY, J. P.; GORMLEY, E. The problem that residual *Mycobacterium bovis* infection poses for the eradication of bovine tuberculosis. *The Veterinary Journal*, v. 308, art. 106266, 2024. DOI: 10.1016/j.tvjl.2024.106266.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals*. Chapter: Bovine brucellosis (*Brucella abortus*, *B. melitensis* and *B. suis*). Paris: WOA, 2024.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals*. Chapter: Infection with *Mycobacterium tuberculosis* complex. Paris: WOA, 2024.

XIAO, Y.; LI, M.; GUO, X.; ZENG, H.; SHUAI, X.; GUO, J.; HUANG, Q.; CHU, Y.; ZHOU, B.; WEN, J. et al. Inflammatory mechanism of *Brucella* infection in placental trophoblast cells. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 23, n. 21, p. 13417, 2022. DOI: 10.3390/ijms232113417.

YU, X.; LI, Y.; ZHANG, H.; WANG, J.; ZHAO, L.; LIU, Q. Epidemiological characteristics and spatio-temporal analysis of brucellosis in Shandong Province, 2015–2021. *BMC Infectious Diseases*, London, v. 23, p. 669, 2023. DOI: 10.1186/s12879-023-08503-6.