GISELLA STEPHANIE DE OLIVEIRA DIAS DA SILVA

Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros.

São Paulo

2022

GISELLA STEPHANIE DE OLIVEIRA DIAS DA SILVA

Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:

Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal

Área de concentração:

Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses

Orientador:

Prof. Dr. José Henrique de Hildebrand e Grisi Filho

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T. 4216
FMVZ

Silva, Gisella Stephanie de Oliveira Dias da
Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros / Gisella Stephanie de Oliveira Dias da Silva. – 2022.
54 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal, São Paulo, 2022.

Programa de Pós-Graduação: Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses.

Área de concentração: Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses.

Orientador: Prof. Dr. José Henrique de Hildebrand e Grisi Filho.

1. Sistema de vigilância. 2. Tuberculose bovina. 3. Análise de redes sociais. 4. Abatedouros. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Camila Molgara Gamba CRB 7070-8, da FMVZ/USP.

São Paulo, 24 de junho de 2022
CEUAx N 1732160919

Ilmo(a). Sr(a).
Responsável: José Henrique De Hildebrand E Grisi Filho
Área: Medicina Veterinária Preventiva E Saúde Animal
Equipe envolvida: Gisella Dias - (executante); José Henrique De Hildebrand E Grisi Filho - (orientador);

Título do projeto: "Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros.".

Parecer Consubstanciado da CEUA FMVZ

A Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, na reunião de 27/11/2019, **ANALISOU** e **APROVOU** o protocolo de estudo acima referenciado. A partir desta data, é dever do pesquisador:
1. Comunicar toda e qualquer alteração do protocolo.
2. Comunicar imediatamente ao Comitê qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento do protocolo.
3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.
4. **Relatórios parciais** de andamento deverão ser enviados **anualmente** à CEUA até a conclusão do protocolo.

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna
Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo

Camilla Mota Mendes
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: da SILVA, Gisella Stephanie de Oliveira Dias

Título: **Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: _____/_____/_____

Banca Examinadora

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha madrinha Helena, e aos amores da minha vida: Megg, Eddie e Ritinha. Por me acompanharem por todos os caminhos da vida, me darem força e coragem para seguir em frente, e me ensinarem que o infinito é pequeno quando se há amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Grisi, por ter me ensinado tanto. Não tenho palavras para agradecer todo o apoio que recebi durante esses anos. Obrigada por ter acreditado em mim todas as vezes que eu não acreditei.

Agradeço aos meus pais, Claudia e Valdir, minha irmã, Daniella e meu irmãozinho Bruce, por serem meu porto seguro em todos os momentos, por me incentivarem a alcançar meus sonhos e me ensinarem a trabalhar duro sempre.

Agradeço aos meus avós, Marina, Dario e Vanilda, minhas tias Alessandra e Denize e minhas primas Amanda, Ana Paula, Beatriz, Helena, Joyce, Sophia e Victória, por tanto carinho e compreensão quando estive longe de casa.

Agradeço à Marcia, por sempre cuidar de mim.

Agradeço ao meu companheiro de vida, João Castañon, por todos os anos de amor e aprendizado, pela paciência e apoio incondicionais. Obrigada por tanto.

Agradeço aos meus melhores amigos, por serem quem são. Em especial Alef Barros, Alex Silva, Heitor Dias, Mariana Delorme, Marcela Martins, Marcielli Almeida, Luiza Amado e Luiza Mattos. Obrigada por serem meu lugar no mundo, e me lembrarem que eu sempre terei para onde voltar.

Agradeço meus amigos do LEB, Germana, Beatriz, Lígia, Niko, Alfredo, Alexandre, Guilherme, Amanda, Mariana, Stephanie, Ana Pérola, Daniel e Aluísio por todo apoio no desenvolvimento do trabalho, por todos os cafés do Leb (pessoalmente e a distância) e por terem me acolhido com tanto carinho.

Agradeço ao Danival e a todos do VPS e da USP, por toda a ajuda durante o mestrado.

Agradeço aos professores do LEB, por todos os ensinamentos.

Agradeço à UFF e a todos os incríveis orientadores e amigos que tive lá, sem eles não teria chegado até aqui. Em especial, Ana Soares, Aguinaldo e Maria Helena.

Agradeço a todos os meus colegas de trabalho e profissionais incríveis da FAO que me acolheram e me ensinaram a ser melhor no que faço.

Agradeço ao Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Mato Grosso (INDEA/MT) por ter cedido os dados para a realização desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento CAPES/PROEX 760/2020.

RESUMO

SILVA, GSOD. **Avaliação do sistema de vigilância de tuberculose bovina em abatedouros**. 2022. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Em regiões com baixa prevalência de tuberculose bovina (bTB), a vigilância em abatedouros desempenha um papel importante na detecção da doença. Compreender a estrutura da rede de movimentação de animais e a relação entre unidades produtivas e abatedouros é essencial para estimar a cobertura da principal estratégia para vigilância de bTB no estado do Mato Grosso, identificando propriedades e/ou regiões que estão no alcance desse sistema e aquelas que não estão. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a cobertura do sistema de vigilância de tuberculose bovina baseado em abatedouros no Mato Grosso através da análise da rede de trânsito de bovinos do estado dos anos de 2014 e 2015. Os resultados demonstraram que abatedouros possuíam até sete graus de separação com propriedades da rede e que 45% das propriedades e 86.5% dos bovinos do estado estavam sob cobertura do sistema. Essa abordagem pode ser utilizada para a estimativa da cobertura de um sistema de vigilância baseado em abatedouros para outras doenças e outras regiões.

Palavras-chave: Sistema de vigilância. Tuberculose Bovina. Análise de Redes Sociais. Abatedouros.

ABSTRACT

SILVA, GSOD. **Evaluation of the surveillance system for bovine tuberculosis in slaughterhouses**. 2022. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

In regions with a low prevalence of bovine tuberculosis (bTB), slaughterhouse surveillance plays an important role in disease detection. Understanding the structure of the animal movement network and the relationship between production units and slaughterhouses is essential to estimate the coverage of the main strategy for the surveillance of bTB in the state of Mato Grosso, identifying premises and/or regions that are within the reach of this system and those that are not. This study aimed to evaluate the coverage of the bovine tuberculosis surveillance system based on slaughterhouses in Mato Grosso through the analysis of the cattle transit network of the years 2014 and 2015. The results showed that slaughterhouses had up to seven degrees of separation with premises in the network and that 45% of premises and 86.5% of the cattle in the state were covered by the system. This approach can be used to estimate the coverage of a slaughterhouse-based surveillance system for other diseases and other regions.

Keywords: Surveillance Systems. Bovine Tuberculosis. Social Network analysis. Slaughterhouses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial de propriedades de bovinos por município do estado do Mato Grosso. 29

Figura 2 - Distribuição espacial da proporção de propriedades cobertas pelo sistema de vigilância baseado em abatedouros por município do estado do Mato Grosso. 29

Figura 3 - Distribuição espacial de bovinos por município do estado do Mato Grosso. 30

Figura 4 - Distribuição espacial da proporção de bovinos sob cobertura do sistema de vigilância baseado em abatedouros por município do estado do Mato Grosso. 30

Figura 5 - Distribuição espacial das propriedades cobertas pelo abatedouro número 08 do Serviço de Inspeção Federal, localizado no ponto vermelho, por município do estado do Mato Grosso. 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de propriedades e animais sob cobertura do sistema (Probabilidade de cobertura >80%) em relação aos graus de separação de abatedouros. 27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de barras demonstrando a quantidade de propriedades no estado em cada grau de distância até o abatedouro. Propriedades em N são aquelas que não possuem relações diretas ou indiretas com abatedouros. 23

Gráfico 2 - Gráfico de barras demonstrando a quantidade de animais no estado em cada grau de distância até o abatedouro. Propriedades em N são aquelas que não possuem relações diretas ou indiretas com abatedouros. 24

Gráfico 3 - Histograma demonstrando a frequência relativa (%) de propriedades no estado em relação a probabilidade de cobertura pelo sistema de vigilância. 25

Gráfico 4 - Boxplot demonstrando a distribuição da probabilidade de cobertura de propriedades pelo sistema de vigilância, em relação aos graus de distância em que essas propriedades se encontram de abatedouros. 26

Gráfico 5 - Boxplot demonstrando a distribuição da quantidade de propriedades cobertas pelos abatedouros no estado em relação ao tipo de inspeção. 28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 OBJETIVOS 18

3 MATERIAIS E MÉTODOS 18

4 RESULTADOS 23

5 DISCUSSÃO 32

6 CONCLUSÕES 35

REFERÊNCIAS 35

APÊNDICES 45

1 INTRODUÇÃO

A tuberculose bovina (bTB), causada pela *Mycobacterium bovis,* é uma doença de bovinos e bubalinos que ocasionalmente afeta outras espécies de mamíferos. No geral, a doença é de evolução crônica, causando lesões granulomatosas caseosas ou calcificadas, que podem ser encontradas no pulmão, nos linfonodos, no fígado, no baço e na musculatura desses animais. Em estágios avançados da doença, sinais clínicos como tosse, dispneia, fraqueza e inapetência são comuns. Por causar mastite e emagrecimento progressivo, a bTB tem grande impacto na produção leiteira e de carne (THE CENTER FOR FOOD SECURITY & PUBLIC HEALTH, 2009).

Na maioria das vezes, o curso da doença segue assintomático, facilitando a transmissão entre animais suscetíveis. A introdução de animais não testados em uma propriedade costuma ser a maior fonte de contaminação de um rebanho (VELOSO et al., 2016). Uma vez que um animal doente entra na propriedade, a transmissão ocorre através do contato direto entre os animais e através da inalação de aerossóis infecciosos. Em bezerros, a ingestão de leite contaminado proveniente de vacas com mastite tuberculosa também é uma via de infecção importante (THE CENTER FOR FOOD SECURITY & PUBLIC HEALTH, 2009).

Além do impacto na saúde animal, a bTB é classificada como uma doença zoonótica negligenciada (MABLESON et al, 2014). Em países em que a doença não é controlada, a ingestão de leite não pasteurizado e produtos cárneos crus é uma importante fonte de infecção, causando principalmente a forma extrapulmonar da tuberculose humana. Além disso, a inalação de aerossóis infecciosos por pessoas em contato próximo com animais infectados pode levar ao desenvolvimento pulmonar típico da doença (BIFFA et al, 2010). A Organização Mundial da Saúde estimou que em 2019, 140 mil casos de tuberculose em humanos foram causados pela bTB, representando 1,4% dos casos de tuberculose no mundo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). A tuberculose em bovinos é, portanto, também uma questão de saúde humana.

Com o objetivo de reduzir o impacto socioeconômico da bTB, o Brasil adotou uma política de combate à doença através do Plano Nacional de Controle e

Erradicação da Brucelose e Tuberculose (PNCEBT), lançado em 2001 e atualizado em 2017 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2017). Para o controle da bTB, a realização de testes tuberculínicos associado ao abate sanitário de animais positivos, a necessidade de testar animais que serão introduzidos nos rebanhos e a detecção de lesões sugestivas da doença na rotina de inspeção *post-mortem* em abatedouros, são as principais diretrizes do programa, que tem como principais objetivos, além da redução da prevalência e incidência de novos focos da doença, a certificação de propriedades livres e o controle de trânsito desses animais (BRASIL, 2006).

Entretanto, em regiões com baixa prevalência de bTB, o MAPA reconhece que a vigilância através da inspeção de carcaças em abatedouros assume um papel mais importante no controle da doença do que o teste sistemático de animais nas propriedades (BRASIL, 2006). Em países que possuem prevalência muito baixa da doença, a vigilância em abatedouros foi o principal meio de detecção de novos casos (PROBST et al., 2010; PASCUAL-LINAZA et al., 2016; HUMPHREY et al., 2014). A exemplo dos Estados Unidos, em que, em 2005, 95% dos rebanhos infectados, foram identificados através da rastreabilidade das propriedades de origem de animais com lesões confirmadas durante a rotina de inspeção em abatedouros, associada com a subsequente investigação epidemiológica (HUMPHREY et al., 2014). Além disso, países endêmicos que apresentam desempenho satisfatório de seu serviço de inspeção veterinário, associado com programas de controle e erradicação consolidados conseguiram reduzir a prevalência da doença em razão da eficiência na identificação das propriedades de origem de animais infectados identificados na rotina de inspeção (PAOLI, 2013).

No Brasil, estudos recentes realizados em 13 estados, demonstraram que a prevalência de rebanho para a doença varia de 0,36% no Distrito Federal a 9% em São Paulo (BAHIENSE et al., 2016; BARBIERI et al., 2016; DIAS et al., 2016; GALVIS et al., 2016; GUEDES et al., 2016; LIMA et al., 2016; NÉSPOLI et al., 2016; QUEIROZ et al., 2016; RIBEIRO et al., 2016; ROCHA et al., 2016; SILVA et al., 2016; VELOSO et al., 2016; VENDRAME et al., 2016). Mato Grosso, o estado com o maior rebanho bovino do país, com 32,7 milhões de cabeças em 2020 (IBGE, 2022a), possui uma prevalência de rebanho de 1,3% e uma prevalência de animais infectados de 0,123%

(NÉSPOLI et al., 2016). Nesse contexto, a principal estratégia para o controle da bTB no estado consiste na implementação de um sistema de detecção e rastreamento de focos a partir de lesões identificadas na rotina de inspeção em abatedouros. (INDEA, 2022)

Após a identificação da lesão característica da doença, o serviço de inspeção encaminha a amostra para confirmação laboratorial e notifica o Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (INDEA/MT), seguindo o protocolo estabelecido no Programa Estadual de Submissão de Granuloma (MATO GROSSO, 2019). Caso haja a confirmação do diagnóstico, a movimentação de animais na propriedade de origem é temporariamente restrita, com exceção para o trânsito com finalidade para abate. Para o saneamento do foco, são realizados testes de rebanho para diagnóstico da doença, em animais a partir de seis semanas, no caso de propriedades de produção leiteira ou mista, e fêmeas acima de 24 meses e machos reprodutores, em casos de estabelecimentos de corte, num intervalo de sessenta a noventa dias entre testes. O saneamento termina após um teste de rebanho negativo. Além disso, estabelecimentos que possuem vínculos epidemiológicos com a propriedade foco são identificados e testados (BRASIL, 2017).

Dessa forma, em um sistema de vigilância baseado em abatedouros, propriedades que enviam animais para abate seriam monitoradas constantemente. Entretanto, o alcance do sistema não se limita apenas a essas propriedades, uma vez que animais podem ser comercializados entre diferentes estabelecimentos até serem enviados para abate. Um bovino com lesões de tuberculose detectadas em uma inspeção *post-mortem* pode ter sido infectado em uma propriedade distinta daquela que vendeu o animal ao abatedouro. Em 2008, na Alemanha, um único animal detectado com lesões de *M. bovis* levou à descoberta de onze propriedades foco da doença, através da identificação da propriedade de origem do animal, seguido pelo rastreamento e testagem de animais de propriedades das quais a primeira comprou e vendeu animais, provando que o alcance do sistema se estende além das propriedades ligadas diretamente ao abatedouro (PROBST et al., 2011), e portanto, considerar apenas as propriedades que se relacionam diretamente com o abatedouro pode reduzir a estimativa da cobertura do sistema de vigilância (STIRLING et al., 2020).

Por outro lado, uma propriedade pode manter um baixo nível de comércio com outras, ou se relacionar apenas com propriedades que não se relacionam direta ou

indiretamente com abatedouros, de forma que os animais desta propriedade fiquem à margem do sistema de vigilância, requerendo que outro componente de vigilância seja utilizado para garantir a cobertura do sistema como um todo.

Como a movimentação de animais entre propriedades é considerada o principal fator de risco para a introdução de doenças infecciosas nas fazendas (PENA, 2011), esta é também uma das principais razões para se registar o transporte de animais nas bases de dados nacionais (NÖREMARK; WIDGREN, 2014). No Brasil, essa movimentação é documentada eletrônicamente através das Guias de Trânsito Animal (GTAs), emitidas pelas agências de defesa e inspeção agropecuária estaduais. Através da análise do banco de dados das GTAs é possível avaliar a rede de trânsito de bovinos em uma região, identificando os padrões de movimentações e as relações que existem entre estabelecimentos.

Para isso, a análise de redes sociais tem sido utilizada na medicina veterinária preventiva como uma ferramenta para analisar a estrutura do contato entre animais ou estabelecimentos, principalmente para conduzir uma melhor compreensão do risco potencial de propagação de doenças infecciosas em uma população (MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2009), e otimizar estratégias de controle e vigilância de doenças animais (MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2009; MICHALAK & GIACOBINI, 2021; AMAKU et al., 2015).

Redes são conjuntos de nós ou vértices conectados entre si através de um conjunto de arestas. Quando aplicada ao estudo do trânsito de animais, as unidades epidemiológicas de interesse (propriedades, municípios, estados) são representadas por nós enquanto as arestas são representadas pela movimentação de animais entre elas. O contato direto ocorre entre duas propriedades, enquanto o contato indireto é caracterizado pelo contato sequencial entre várias propriedades. Negreiros e colaboradores (2020) identificaram, através da análise da rede de movimentação de bovinos em MT, que 32% dos animais movimentados no estado em 2007 tinham como destino abatedouros e 25% das propriedades da rede enviavam animais diretamente para abate. Ao desconsiderar as movimentações que tinham como destino abatedouros, 98% dos nós continuaram na rede, demonstrando que as propriedades que possuem relações diretas com abatedouros, possuem também relações com propriedades que não enviam animais diretamente para abate, indicando que abatedouros possuem relações indiretas com a maioria das propriedades na rede.

Nesse sentido, compreender a estrutura da movimentação de animais e a relação entre unidades produtivas e abatedouros é essencial para estimar a cobertura da principal estratégia para vigilância de bTB no estado, identificando propriedades e/ou regiões que estão no alcance desse sistema e aquelas que não estão.

2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo avaliar a cobertura do sistema de vigilância de tuberculose bovina baseado em abatedouros no estado do Mato Grosso através da análise da rede de trânsito de bovinos do estado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A cobertura de um sistema de vigilância refere-se à proporção da população de interesse que é alcançada pelo sistema (CALLEFE & NETO, 2020). Para a avaliação do alcance do sistema de vigilância para bTB baseado em abatedouros no MT, o presente estudo analisou a rede de movimentação de bovinos do estado, calculando a fração de propriedades que se relacionam diretamente com abatedouros, e aquelas que possuem relações indiretas, identificando o grau de separação entre abatedouros e as propriedades da rede e a probabilidade de cobertura pelo sistema de vigilância, de acordo com o grau de separação com o abatedouro, além de realizar uma análise espacial para mapear as áreas sob cobertura de cada abatedouro localizado no estado e a área de cobertura do sistema como um todo.

3.1 Área de estudo

O estado do Mato Grosso, localizado na região centro oeste do país, com 903.357 Km^2 de extensão e 3.567.234 habitantes, possui o maior rebanho bovino do Brasil com 32.702.525 cabeças de gado em 2020 (IBGE, 2022a). A pecuária Mato Grossense concentra-se principalmente na produção de bovinos para corte, sendo responsável por 21,6% da exportação de carne bovina pelo Brasil em 2021 (COMEXSTAT, 2022), enquanto a pecuária leiteira é responsável por 2,2% da produção de leite nacional (IBGE, 2022a). De acordo com o Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE), 4.617.444 animais foram abatidos no estado em 2021, o que representa 16,6% do total de animais abatidos no Brasil (IBGE, 2021b).

3.2 Base de dados

Foi analisada a rede de movimentação de bovinos do estado do Mato Grosso dos anos de 2014 e 2015 (movimentações realizadas entre 01/01/2014 e 31/12/2015), através do banco de dados das Guia de Trânsito Animal (GTA), fornecido pelo INDEA/MT. Essa base de dados contém informações sobre todas as movimentações de animais de produção que ocorreram no MT, entretanto, o presente estudo utilizou apenas movimentações de bovinos com origem e destino dentro do estado. Portanto, foram incluídos no estudo, a partir do banco de dados de GTA, 103.807 propriedades, 84 abatedouros e 2.556 outros estabelecimentos (eventos agropecuários, leilões, rodeios, etc) que realizaram 773.454 movimentações totalizando 35.811.466 bovinos movimentados ao longo dos anos. Dessa base de dados, foram extraídas informações sobre os estabelecimentos de origem e destino das movimentações, o número de animais movimentados e a finalidade das movimentações.

As informações sobre os estabelecimentos da rede foram cruzadas com os bancos de dados de cadastros de propriedades e abatedouros do estado, também fornecidos pelo INDEA/MT, a fim de obter-se o saldo de bovinos e as coordenadas geográficas de cada propriedade da rede e a classificação de abatedouros de acordo com o tipo de inspeção (Serviço de Inspeção Municipal - SIM, Serviço de Inspeção Estadual - SIE e Serviço de Inspeção Federal - SIF). Além disso, propriedades que não se encontravam no banco de dados de GTA (ou seja, não realizaram movimentações nesse período), mas que constavam como ativas no cadastro de propriedades do estado, foram incluídas na análise da cobertura do sistema, totalizando 125.488 propriedades avaliadas.

Devido às inconsistências no banco de dados, para as propriedades onde o saldo de animais no cadastro não era condizente com a quantidade de animais movimentados ao longo da rede, considerou-se como saldo o valor mínimo que garantia que essas propriedades não possuíssem em nenhum momento da simulação um valor negativo de saldo. Por exemplo, se uma propriedade tinha um saldo de 50 animais no início de 2014, mas vendeu 200 animais até o final de 2015, e não comprou nenhum animal, essa propriedade movimentaria 150 animais a mais do que consta

em seu cadastro, dessa forma, para permitir a simulação da movimentação de animais da rede considerou-se 200 animais como o saldo inicial dessa propriedade.

3.3 Distância de separação entre abatedouros e propriedades da rede.

No presente estudo, os nós são representados por estabelecimentos presentes na base de dados de GTA, enquanto as arestas são representadas pelas movimentações de animais entre eles, onde o valor de cada aresta traz o número de animais comercializados entre os nós. Na análise de redes sociais, o grau de separação entre nós é determinado pela quantidade mínima de conexões entre eles (BAKHSHANDEH et al., 2013). O contato direto é estabelecido como a movimentação que ocorre entre dois estabelecimentos, enquanto o contato indireto ocorre entre estabelecimentos que não realizam movimentações entre si, mas possuem parceiros comerciais intermediários, estabelecendo um contato subsequencial entre eles.

Para a análise da distância de separação entre abatedouros e as propriedades da rede de trânsito animal, construiu-se uma rede a partir das propriedades que enviaram bovinos para abate, sendo essas classificadas como vizinhas diretas de abatedouros, ou propriedades a um grau de separação. Em seguida, propriedades a dois graus de separação eram identificadas como aquelas que comercializavam animais para as propriedades a um grau de separação, respeitando a temporalidade da rede. Propriedades a três graus de separação eram identificadas como aquelas que comercializavam animais para propriedades a dois graus de separação e assim subsequentemente, até se encontrar o grau máximo de conexões entre propriedades da rede e abatedouros. Propriedades a dois graus de separação em diante foram consideradas vizinhas indiretas de abatedouros.

3.4 Probabilidade de cobertura pelo sistema.

Definimos como probabilidade de cobertura de uma propriedade a probabilidade de que pelo menos um animal infectado desta propriedade chegue a um abatedouro da rede, seja por via direta ou indireta.

A probabilidade de cobertura pode ser calculada como o complemento da probabilidade de que nenhum animal infectado chegue a um abatedouro, e esta pode ser calculada através de uma distribuição hipergeométrica. Ou seja:

$$P_{T^{+}\geq 1} = 1 - \frac{\binom{d}{0}\binom{N-d}{n-0}}{\binom{N}{n}}$$

Equação 1

Onde, P_{T+} é a probabilidade de cobertura, ou seja, de que pelo menos um animal infectado da propriedade chegue a um abatedouro da rede; *d* é o total de animais infectados na propriedade; *N* é o número total de animais na propriedade; e *n* é a quantidade de animais da propriedade que chegaram a um abatedouro.

A quantidade de animais infectados na propriedade foi definida como 20% do rebanho da propriedade (NESPOLI et. al, 2016 ; RIBEIRO et al., 2016), arredondado para cima, de maneira que, não importando o tamanho do rebanho da propriedade, esta tivesse pelo menos um animal infectado.

Para estimar a quantidade de animais de uma dada propriedade que chegam aos abatedouros da rede, foram realizadas 100 simulações estocásticas, onde considerou-se como nós de início, todas as propriedades que enviaram animais na rede, e como nós finais, todos os abatedouros da rede. Foi registrado o nó de início de cada animal movimentado na rede, e para cada movimentação os animais a serem movimentados eram sorteados a partir dos animais presentes naquele nó naquele momento, de forma que os animais eram enviados de um nó para outro sem perder a rastreabilidade de sua propriedade inicial.

Assim, para cada simulação, tem-se a quantidade de animais que chegaria a rotina de inspeção nos abatedouros (nós finais), a partir de cada uma das propriedades que movimentaram animais na rede (nós de início), através de conexões diretas e indiretas. Para cada quantidade de animais que chegam aos nós finais a partir dos nós iniciais, está associada a probabilidade de que pelo menos um desses animais esteja infectado com bTB, como descrito na Equação 1. Estimamos a probabilidade de cobertura de uma propriedade como a média das probabilidades obtidas em cada simulação.

O cálculo da probabilidade de pelo menos um animal com tuberculose bovina chegar ao abatedouro a partir de cada uma das propriedades da rede foi associado à análise dos graus de separação entre as propriedades e abatedouros, identificando assim, a probabilidade de cobertura pelo sistema para cada distância de separação.

3.5 Propriedades e Animais sob Cobertura

Para estimar a cobertura do sistema, considerou-se como propriedades sob cobertura aquelas que possuíam probabilidade de cobertura acima de 80%. Considerou-se que animais estão sob cobertura do sistema se pertencem a uma propriedade sob cobertura. Foi calculada a quantidade e a fração de propriedades e animais sob cobertura para todo o estado e para cada município separadamente.

Foram identificados também a quantidade e localização de propriedades sob cobertura a partir de cada abatedouro do estado.

3.4 Análise Espacial

Com o objetivo de visualizar a área de cobertura do sistema de vigilância, foram produzidas, a partir da localização das propriedades, figuras com a quantidade de propriedades e proporção de propriedades sob cobertura para cada um dos municípios do estado. As imagens permitem identificar as áreas com maior e menor cobertura pelo sistema de abatedouros. Foram produzidas também ilustrações identificando o município das propriedades sob cobertura de cada abatedouro presente na rede.

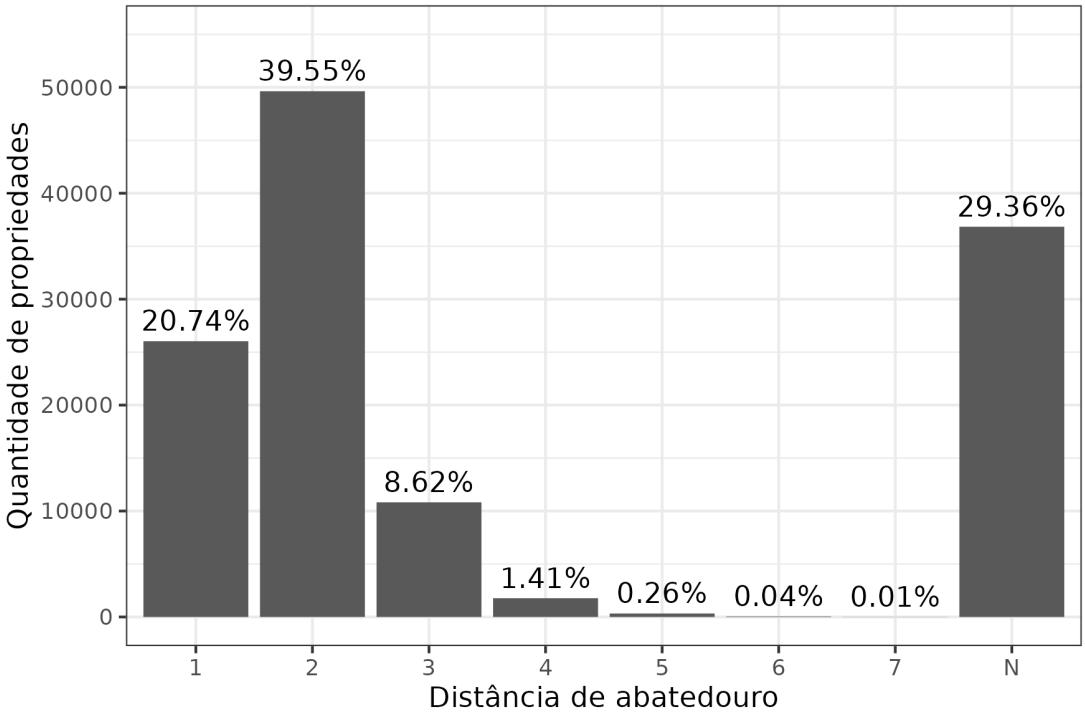
3.5 Softwares utilizados

A estruturação da rede de contatos diretos e indiretos entre propriedades e abatedouros, assim como a simulação da movimentação de animais entre nós iniciais e nós finais, o cálculo das probabilidades e produção de análises, gráficos e mapas foram implementados no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020). Os seguintes pacotes foram utilizados: tidyverse (Wickham et al., 2019), ggplot2 (Wickham, 2016), Matrix (Bates et al., 2022), rgdal (Bivand et al., 2022), RColorBrewer (Neuwirth, 2022), epinemo (Grisi Filho et al., 2022), xlsx (Dragulescu e Arendt, 2020), foreach (Microsoft e Weston, 2022a), doParallel (Microsoft e Weston, 2022b).

4 RESULTADOS

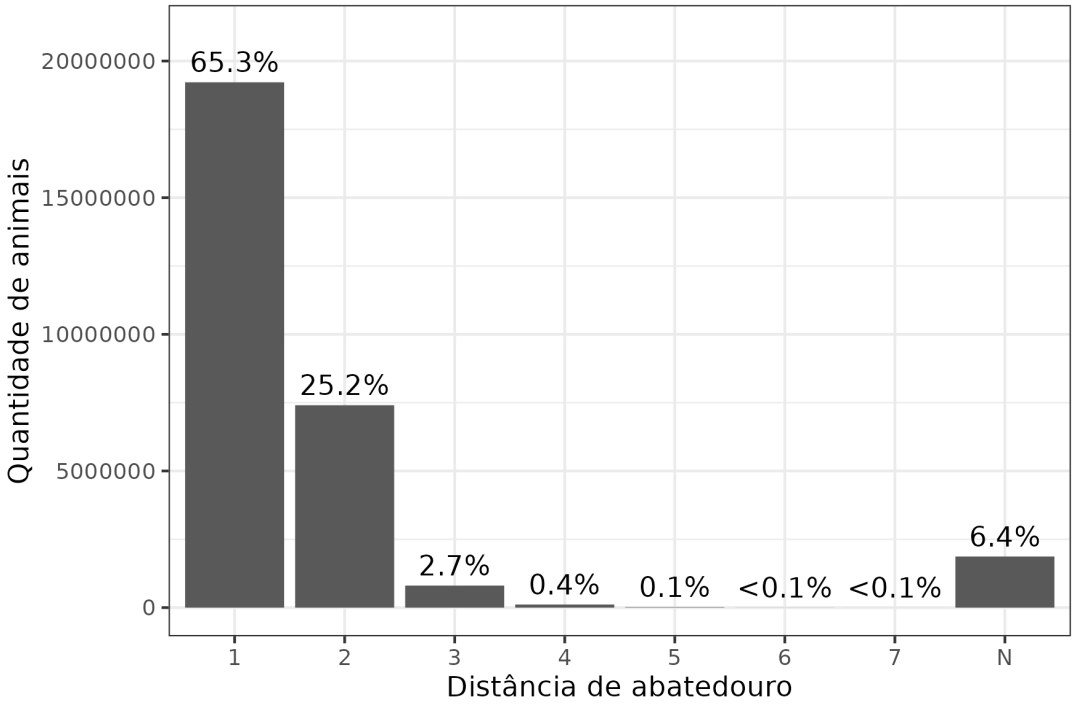
Do total de 125.488 propriedades avaliadas no estado, 82,72% movimentaram animais entre 2014 e 2015. Abatedouros possuíam até sete graus de separação com propriedades da rede, e 29,36% do total de propriedades do estado não possuíam conexão com abatedouros ao longo dos dois anos estudados. Enquanto 20,75% das propriedades estudadas enviaram animais para abate, e, portanto, eram vizinhas diretas de abatedouros, 49,9% das propriedades eram vizinhas indiretas, sendo que quase 40% das propriedades encontravam-se a dois graus de distância dos abatedouros (**Gráfico 1**).

Gráfico 1 - Gráfico de barras demonstrando a quantidade de propriedades no estado em cada grau de distância até o abatedouro. Propriedades em N são aquelas que não possuem relações diretas ou indiretas com abatedouros.



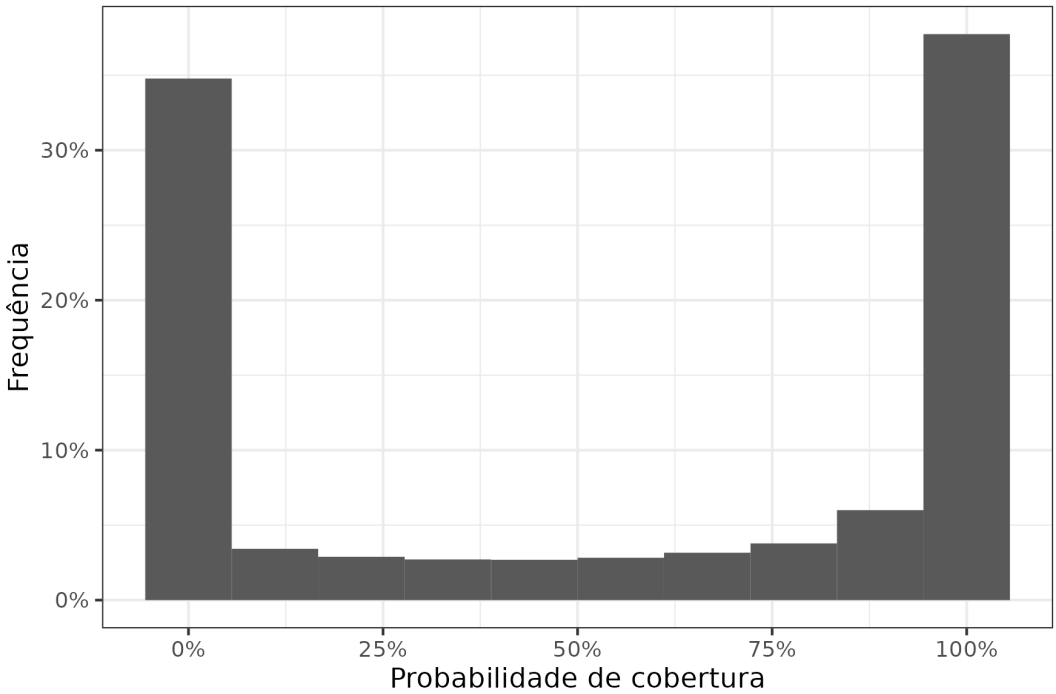
Em relação à quantidade de animais, a maioria dos bovinos (65,3%) se encontravam em propriedades que são vizinhas diretas de abatedouros, enquanto propriedades com dois graus de separação de abatedouros concentravam 25,2% dos animais do estado (**Gráfico 2**).

Gráfico 2 - Gráfico de barras demonstrando a quantidade de animais no estado em cada grau de distância até o abatedouro. Propriedades em N são aquelas que não possuem relações diretas ou indiretas com abatedouros.



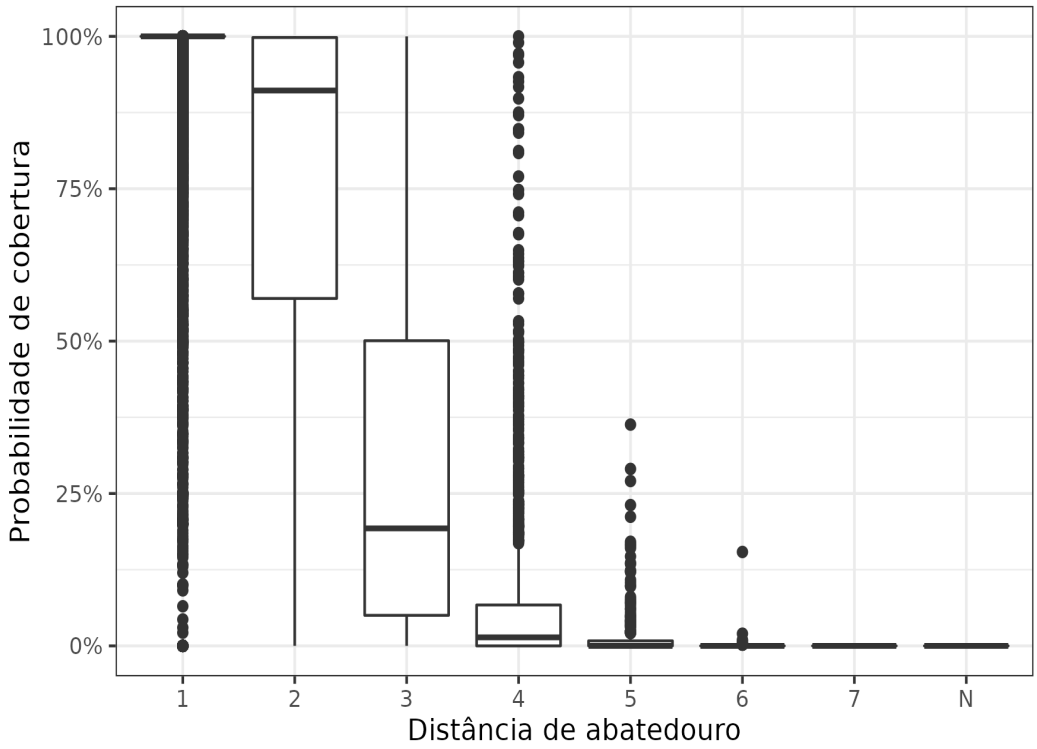
Quanto à probabilidade de cobertura, 45% das propriedades do estado tinham probabilidade acima de 80% de serem cobertas pelo sistema, sendo que 31,9% das propriedades possuíam 0% de probabilidade de cobertura pelo sistema (**Gráfico 3**). Significando que mais da metade das propriedades do estado não são cobertas pelo sistema de vigilância baseado em abatedouros.

Gráfico 3 - Histograma demonstrando a frequência relativa (%) de propriedades no estado em relação a probabilidade de cobertura pelo sistema de vigilância.



A maioria das propriedades a um grau de separação de abatedouros tinham 100% de probabilidade de cobertura, enquanto pelo menos 60,7% das propriedades a dois graus de separação possuíam probabilidade acima de 80%, indicando que em sua maioria propriedades em até dois graus de distância de abatedouros eram cobertas pelo sistema (**Gráfico 4)**.

Gráfico 4 - Boxplot demonstrando a distribuição da probabilidade de cobertura de propriedades pelo sistema de vigilância, em relação aos graus de distância em que essas propriedades se encontram de abatedouros.



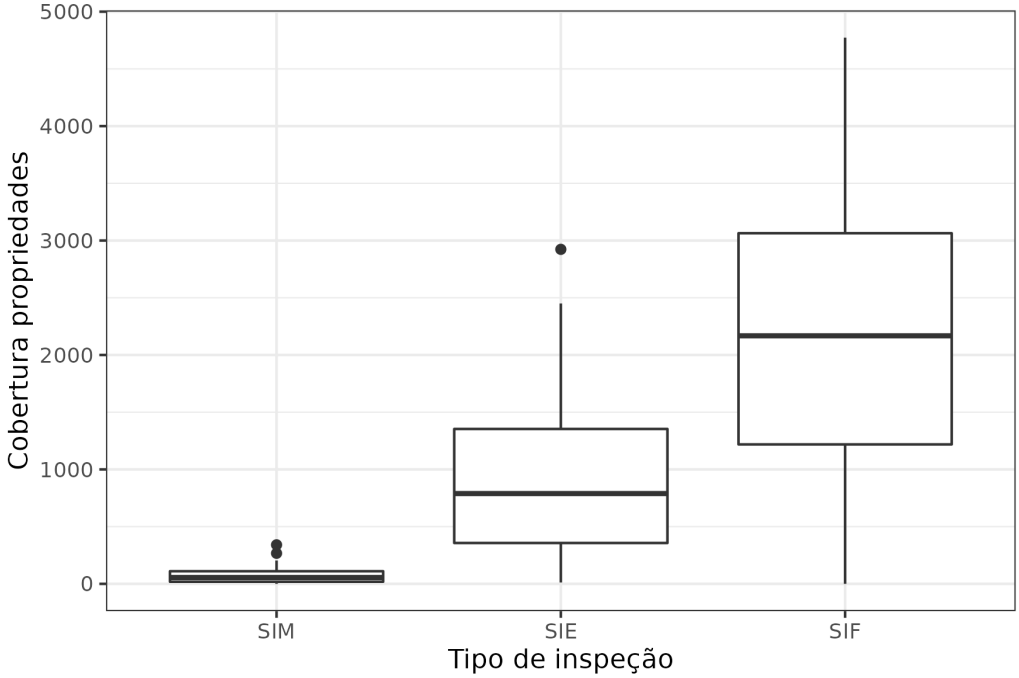
A **tabela 1** indica a proporção de propriedades sob cobertura para cada grau de distância do abatedouro, além de indicar a quantidade de animais que se concentram nessas propriedades. 96,2% das propriedades que se encontram a um grau de separação de abatedouros, ou seja, são vizinhas diretas, tinham probabilidade de cobertura acima de 80%. Essas propriedades concentram 99,2% dos animais presentes nas propriedades a um grau de separação, o que indica que as 3,8% de propriedades restantes concentravam apenas 0,8% dos animais desse estrato. No total, 86,5% dos bovinos do estado estavam em propriedades consideradas sob cobertura pelo sistema de vigilância baseado em abatedouros.

Tabela 1 - Número de propriedades e animais sob cobertura do sistema (Probabilidade de cobertura maior que 80%) em relação aos graus de separação de abatedouros.

Distância Frigorífico	Propriedades Sob Cobertura (%)	Número Total de Propriedade em Cada Distância	Animais Sob Cobertura (%)	Número Total de Animais em Cada Distância
1	96.2	26032	99.2	19222157
2	60.7	49632	83.2	7406017
3	11.7	10822	27.9	806132
4	0.9	1771	3.5	113045
5	0	326	0	15770
6	0	51	0	2522
7	0	14	0	460
N	0	36840	0	1870183
TOTAL	45	125488	86.5	29436286

Durante os anos estudados, abatedouros receberam 9.814.489 de animais de 26.032 propriedades. Cada abatedouro da rede cobria em média 1.233 propriedades. Dos 84 abatedouros que receberam animais no estado, 40 eram do tipo SIF, 12 SIE e 32 SIM. Abatedouros SIF foram responsáveis por cobrir a maior parte das propriedades, 88.380, seguido por abatedouros SIE, com 12.558 propriedades e SIM, com 2615 propriedades. O **Gráfico 5** demonstra a distribuição da quantidade de propriedades cobertas por abatedouros de acordo com o serviço de inspeção.

Gráfico 5 - Boxplot demonstrando a distribuição da quantidade de propriedades cobertas pelos abatedouros no estado em relação ao tipo de inspeção.



4.1 Análise Espacial

A **Figura 1** demonstra a quantidade de propriedades presentes em cada município do estado, enquanto a **Figura 2** demonstra a porcentagem de propriedades por município do estado sob cobertura do sistema de vigilância baseado em abatedouros como um todo. É possível observar que poucas propriedades no centro do estado estão sob vigilância do sistema, enquanto o norte do estado é a região com maior proporção de propriedades sob vigilância por município.

Figura 1 - Distribuição espacial de propriedades de bovinos por município do estado do Mato Grosso.

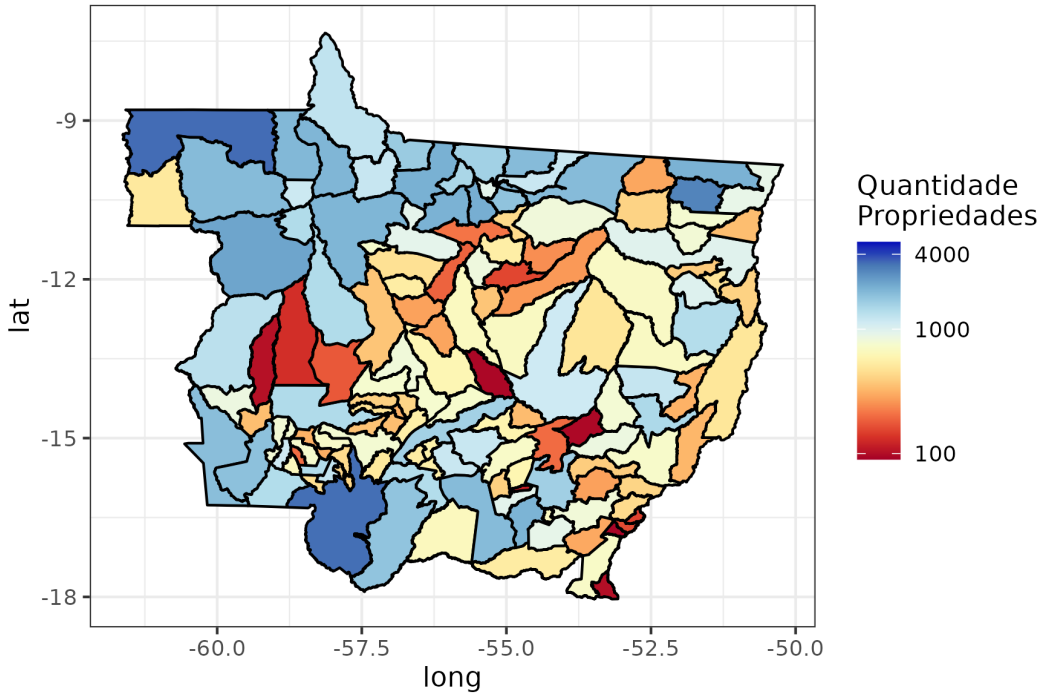
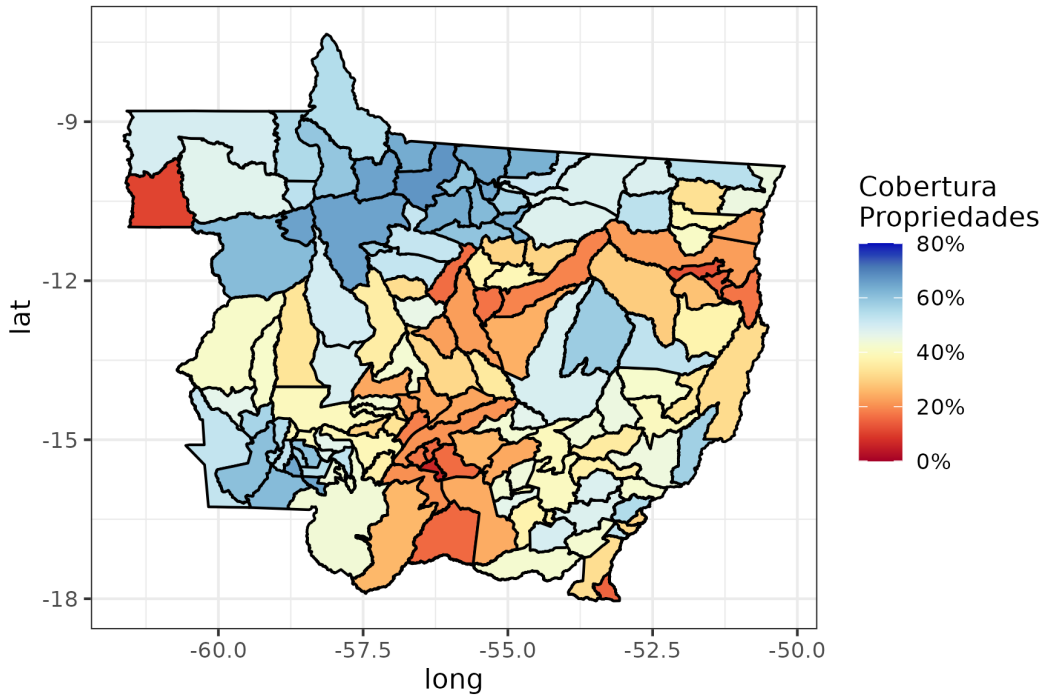


Figura 2 - Distribuição espacial da proporção de propriedades cobertas pelo sistema de vigilância baseado em abatedouros por município do estado do Mato Grosso.



Da mesma maneira, a **Figura 3** apresenta a quantidade de bovinos presente em cada município de Mato Grosso, enquanto a **Figura 4** demonstra a quantidade de bovinos sob cobertura do sistema para cada município do estado.

Figura 3 - Distribuição espacial de bovinos por município do estado do Mato Grosso.

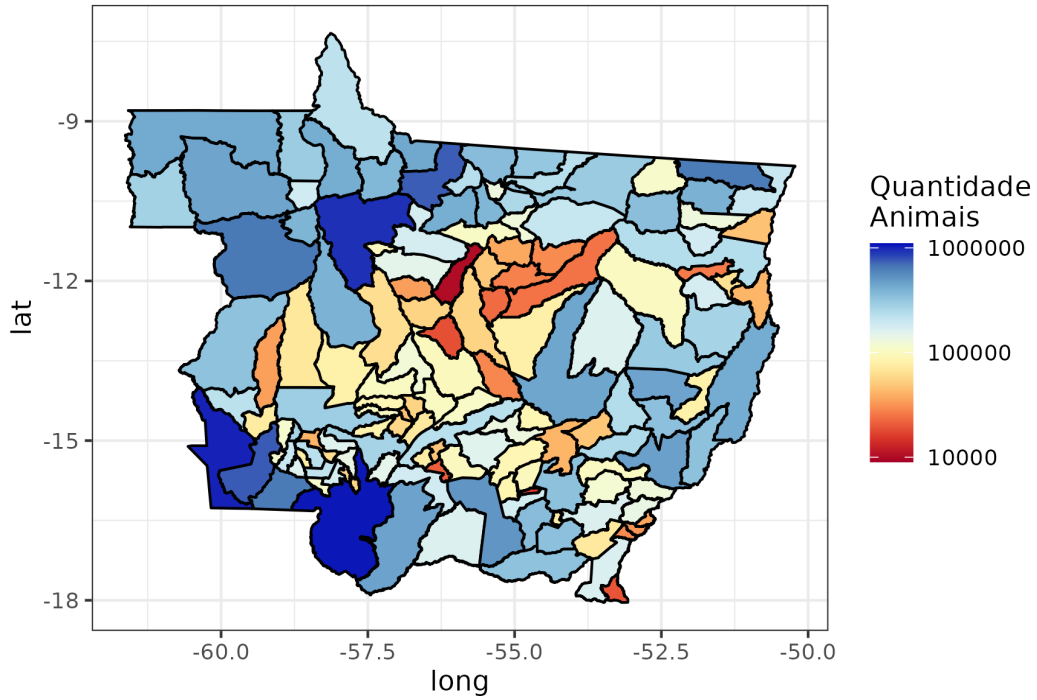
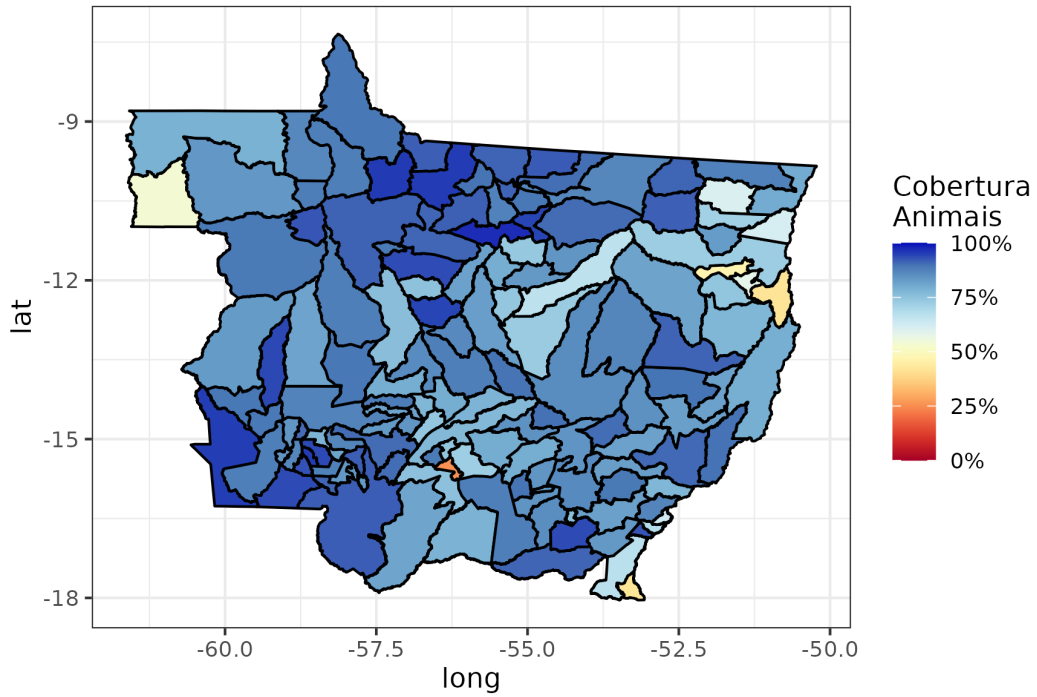
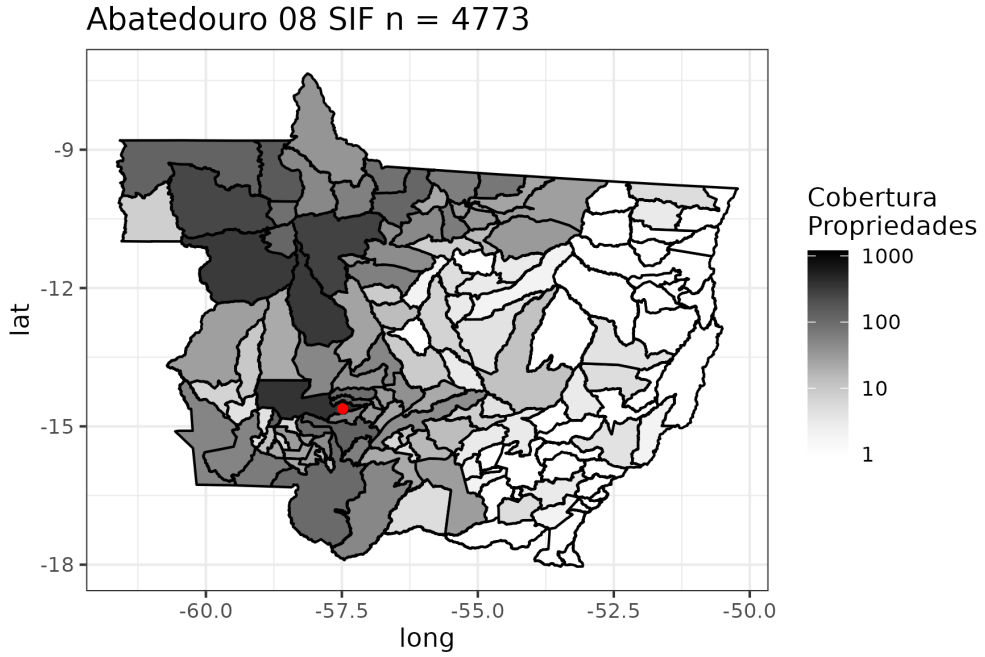


Figura 4 - Distribuição espacial da proporção de bovinos sob cobertura do sistema de vigilância baseado em abatedouros por município do estado do Mato Grosso.



A **Figura 5** apresenta a área de cobertura de um abatedouro tipo SIF, responsável por vigiar 4.773 propriedades. Os mapas com a área de cobertura para cada um dos abatedouros do estado podem ser encontrados no **apêndice A.**

Figura 5 - Distribuição espacial das propriedades cobertas pelo abatedouro número 08 do Serviço de Inspeção Federal, localizado no ponto vermelho, por município do estado do Mato Grosso.



5 DISCUSSÃO

A avaliação de um sistema de vigilância é essencial para se estimar a eficácia desse sistema e identificar pontos em que melhorias são necessárias. A cobertura é um critério chave para a avaliação de qualquer sistema de vigilância em saúde animal. Esse atributo é definido como a proporção da população que é incluída na atividade de vigilância e é particularmente importante quando se objetiva o controle e/ou erradicação de doenças com baixa prevalência em uma população. Quando a cobertura do sistema é alta, pode-se esperar que focos de doenças sejam mais rapidamente detectados (WATSON et al, 2011).

Em um sistema de vigilância baseado em abatedouros, supor que apenas propriedades que enviam animais para abatedouros estão sob cobertura desse sistema pode reduzir a precisão da estimativa desse atributo (STIRLING et al., 2020). Portanto, esse trabalho utilizou a análise da rede de movimentação de bovinos do Mato Grosso, para estimar a cobertura do sistema de vigilância para tuberculose bovina baseado em abatedouros no estado, a fim de identificar todas as propriedades que se encontram sob cobertura do sistema, incluindo as propriedades que não movimentam animais diretamente para abatedouros.

A prevalência e a distribuição da doença em uma população influenciam a escolha dos métodos de avaliação da cobertura (ELY et al., 2012). No caso da bTB em MT, em que Néspoli e colaboradores (2016) identificaram que a prevalência de rebanho para a doença no estado é 1,3% e a prevalência de animais é 0,123%, a probabilidade de se detectar uma propriedade foco é maior do que a de se encontrar um animal infectado, e, portanto, avaliações de cobertura utilizando o nível de propriedade é provavelmente mais apropriado (ELY et al., 2012).

Dessa forma, o presente estudo considerou todas as propriedades do estado como sendo possíveis de serem foco para a doença, e calculou a probabilidade de pelo menos um animal tuberculoso de cada propriedade chegar ao abatedouro, baseado em uma prevalência intra-rebanho de 20% como utilizado por Néspoli e colaboradores (2016), e Ribeiro e colaboradores (2016) para o estudo da prevalência de bTB no MT e no Distrito Federal, respectivamente. Entretanto, a prevalência de animais infectados dentro de um rebanho positivo varia de acordo com o tipo de exploração da propriedade (leiteira, corte ou mista), e com o tipo de criação dos animais (intensivo, extensivo e semi-intensivo) (ALVAREZ et al., 2012; GRIFFIN et al.,

1993). Portanto, a prevalência intra-rebanho utilizada deve levar em consideração as características de produção da região estudada, uma vez que pode alterar a estimativa da cobertura do sistema de acordo com a metodologia desenvolvida por esse trabalho. A metodologia desenvolvida permite estimar a cobertura do sistema para qualquer nível de prevalência intra-rebanho, e espera-se que quanto menor a prevalência intra-rebanho, menor será a probabilidade de cobertura de uma propriedade pelo sistema de vigilância.

Da mesma maneira, esse estudo considerou que uma propriedade estaria sob cobertura do sistema se a sua probabilidade de cobertura fosse superior a 80%. Outros pontos de corte poderiam ser utilizados, a depender do rigor com que se avalia o sistema de vigilância. A metodologia desenvolvida permite o ajuste dos critérios para cobertura de um sistema de vigilância de acordo com a doença e o cenário estudado. Considerar valores menores de probabilidade de cobertura levaria a uma estimativa maior de alcance do sistema, enquanto adotar valores maiores como ponto de corte levaria a uma estimativa menor do alcance do sistema.

De acordo com a metodologia utilizada, o sistema de vigilância cobria 45% das propriedades do estado, sendo que a maioria das propriedades a dois graus de separação de abatedouros e quase 12% das propriedades a três graus de separação estavam sob cobertura. Apenas 0,9% das propriedades a partir de 4 graus de separação estavam cobertas. Entretanto, apesar de 55% das propriedades do estado estarem à margem do sistema, essas concentravam apenas 13,5% dos animais do estado.

Mato Grosso é o maior produtor de carne bovina do país. O Panorama da Pecuária de Mato Grosso, realizado pelo Instituto Mato Grossense de Economia Agropecuária (IMEA) em 2018, demonstrou que 32% dos pecuaristas de corte entrevistados trabalhavam com o ciclo completo de produção de bovinos, 30% dos produtores trabalhavam com a cria dos animais e 16% dos produtores trabalhavam com engorda. Além disso, apenas 21% dos produtores entrevistados não negociavam com abatedouros (IMEA, 2018), indicando que o ciclo produtivo de bovinos no Mato Grosso tem como característica uma proximidade maior com abatedouros. Apesar de 39,5% das propriedades se concentrarem a dois graus de distância de abatedouros, a maioria dos animais se concentram em somente um grau de separação. O que significa que 20% das propriedades do estado concentram 65,3% dos animais. Além disso, 25% dos bovinos se encontram em propriedades a dois graus de separação.

Portanto, apesar de cobrir apenas 45% das propriedades, o sistema foi capaz de alcançar 86,5% dos bovinos do estado.

Ainda assim, a fração da população que não é coberta pelo sistema é expressiva. Além disso, de acordo com a **Figura 7**, é possível observar que há regiões em MT, especialmente no centro-sul e médio-norte do estado, com baixa cobertura pelo sistema. A caracterização do sistema produtivo prevalente nessas regiões é essencial para entender as razões pelas quais o sistema de vigilância para tuberculose bovina não as alcança, além da necessidade de estudos para caracterização da população à margem do sistema, de forma a identificar componentes de vigilância que sejam adequados para a realidade dessas propriedades.

A cobertura do sistema de vigilância é essencial para avaliar também a sensibilidade do sistema (CÓLON-GONZÁLEZ et al., 2018 ; HOINVILLE et al., 2013). Estudos para a avaliação da sensibilidade do sistema de vigilância baseado em abatedouros levam em consideração a probabilidade de animais doentes chegarem aos abatedouros (GARCIA-SAENZ et al., 2014 ; HADORN & STARK, 2008), dessa forma, os dados aqui apresentados são necessários para a estimativa da sensibilidade do sistema de vigilância para bTB no estado do Mato Grosso, além de permitirem a identificação dos abatedouros no estado que captam animais da maior quantidade de propriedades, servindo como base para outros estudos relevantes ao tema.

6 CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida permitiu a estimativa da cobertura do sistema de vigilância para tuberculose bovina baseado unicamente em abatedouros no estado do Mato Grosso. Esse estudo demonstrou que 45% das propriedades e 86,5% dos bovinos do estado estavam sob cobertura do sistema, e identificou as regiões menos vigiadas. Essa abordagem pode ser utilizada para a avaliação da sensibilidade do sistema de vigilância para bTB no estado, além de permitir o ajuste de critérios para a estimativa da cobertura de um sistema de vigilância baseado em abatedouros para outras doenças, regiões e espécies.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, J.; PEREZ, A. M.; BEZOS, J.; CASAL, C.; ROMERO, B.; RODRIGUEZ-CAMPOS, S.; SAEZ-LLORENTE, J. L.; DIAZ, R.; CARPINTERO, J.; JUAN, L. de. Eradication of bovine tuberculosis at a herd-level in Madrid, Spain: study of within-herd transmission dynamics over a 12 year period. **Bmc Veterinary Research**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-8, 29 jun. 2012. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1186/1746-6148-8-100.

AMAKU, M.; GRISI-FILHO, J. H. H. The friendship paradox as a strategy for scenarios with incomplete network data. **Physics Of Life Reviews**, [S.L.], v. 15, p. 39-40, dez. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.plrev.2015.09.004.

BAHIENSE, L.; BAVIA, M. E.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; GRISI-FILHO, J. H. H.; FERREIRA, F.; TELLES, E. O.; GONÇALVES, V. S. P.; HEINEMANN, M. B.; FERREIRA NETO, J. S. Prevalence and risk factors for bovine tuberculosis in the State of Bahia, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3549-3560, 2016. Suplemento 2.

BAKHSHANDEH, R.; SAMADI, M.; AZIMIFAR, Z.; SCHAEFFER, J.. Degrees of Separation in Social Networks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMBINATORIAL SEARCH, 4., 2011, Barcelona. **Proceedings [...].** Barcelona: Association For The Advancement Of Artificialintelligence, 2011. p. 18-23

BARBIERI, J. M.; OLIVEIRA, L. F.; DORNELES, E. M. S.; MOTA, A. L. A. A.; GONÇALVES, V. S. P.; MALUF, P. P.; FERREIRA NETO, J. S.; FERREIRA, F.; DIAS, R. A.; TELLES, E. O.; GRISI-FILHO, J. H. H.; HEINEMANN, M. B.; AMAKU, M.; LAGE, A. P. Epidemiological status of bovine tuberculosis in the state of Minas Gerais, Brazil. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3531-3548, 2016. Suplemento 2.

BATES, D., MAECHLER, M., JAGAN, M. (2022). Matrix: Sparse and Dense Matrix Classes and Methods. R package version 1.4-1, <https://CRAN.R-project.org/package=Matrix>.

BIFFA, D.; BOGALE, A.; SKJERVE, E.. Diagnostic efficiency of abattoir meat inspection service in Ethiopia to detect carcasses infected with Mycobacterium bovis: implications for public health. **Bmc Public Health**, [S.L.], v. 10, n. 1, 6 ago. 2010. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-10-462.

BIVAND, R., KEITT, T., ROWLINGSON, B. (2022). rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. R package version 1.5-32, <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.

BRASIL. Instrução Normativa nº 10, de 03 de março de 2017. Brasil

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual Técnico do Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT).** 2006

BRASIL. Sidra. Ibge. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**: número de informantes, quantidade e peso total das carcaças dos bovinos abatidos, no mês e no trimestre, por tipo de rebanho e tipo de inspeção. Número de informantes, Quantidade e Peso total das carcaças dos bovinos abatidos, no mês e no trimestre, por tipo de rebanho e tipo de inspeção. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1092. Acesso em: 21 jun. 2022.

CALLEFE, J. L. R.; FERREIRA NETO, J. S. **Sistemas de vigilancia em saúde animal**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2020.

CIPULLO, R. I.; GRISI-FILHO, J. H. H.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F.; FERREIRA NETO, J. S.; GONÇALVES, V. S. P.; MARQUES, F. S.; NEGREIROS, R. L.; OSSADA, R.; AMAKU, M. CATTLE movement network, herd size and bovine brucellosis in the state of Mato Grosso, Brazil. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3777-3792, 2016. Suplemento 2.

COLÓN-GONZÁLEZ, F. J.; LAKE, L. R.; MORBEY, R. A.; ELLIOT, A.J.; PEBODY, R.; SMITH, G. E. A methodological framework for the evaluation of syndromic surveillance systems: a case study of England. **Bmc Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 1-14, 24

abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1186/s12889-018-5422-9.

COMEXSTAT. **ComexVis**. Disponível em: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis. Acesso em: 22 jun. 2022.

DIAS, R. A.; STANOJLOVIC, F. M. U.; BELCHIOR, A. P. C.; FERREIRA, R. S.; GONÇALVES, R. C.; BARÃO, R. S. C.; SOUSA, P. R.; SANTOS, A. M. A.; AMAKU, M.; FERREIRA, F.; TELLES,E. O.; GRISI-FILHO, J. H. H.; GONÇALVES, V. S. P.; HEINEMANN, M. B.; FERREIRA NETO, J. S. Prevalence and risk factors for bovine tuberculosis in the state of São Paulo, Brazil. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3673- 3684, 2016. Suplemento 2.

DRAGULESCU A., ARENDT C. (2020). xlsx: Read, Write, Format Excel 2007 and Excel 97/2000/XP/2003 Files. R package version 0.6.5, <https://CRAN.R-project.org/package=xlsx>.

ELY, E. R.; NICHOLSON, R. E.; SNOW, L. C.; STRUGNELL, B. W.; WILLIAMSON, S. M.; MILNES, A. S.; WATSON, E. N.; HOINVILLE, L. J.. Evaluation of methods for measuring coverage and representativeness of an early-warning disease surveillance system. **Veterinary Record**, [S.L.], v. 171, n. 17, p. 423-423, out. 2012. Wiley. http://dx.doi.org/10.1136/vr.100854.

GARCIA-SAENZ, A.; NAPP, S.; LOPEZ, S.; CASAL, J.; ALLEPUZ, A.. Estimation of the individual slaughterhouse surveillance sensitivity for bovine tuberculosis in Catalonia (North-Eastern Spain). **Preventive Veterinary Medicine**, [S.L.], v. 121, n. 3-4, p. 332-337, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.08.008.

GRIFFIN, J. M.; HAHESY, T.; LYNCH, K.; SALMAN, M.D.; MCCARTHY, J.; HURLEY, T. The association of cattle husbandry practices, environmental factors and farmer characteristics with the occurence of chronic bovine tuberculosis in dairy herds in the Republic of Ireland. **Preventive Veterinary Medicine**, [S.L.], v. 17, n. 3-4, p. 145-160, nov. 1993. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0167-5877(93)90025-o.

GRISI-FILHO, J. H. H.; ROSALES, C. A. R.; FERREIRA, F.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; FERREIRA NETO, J. S. Análise epidemiológica das condenações de bovinos por tuberculose em abatedouros do Estado de São Paulo. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 175-181, 2011.

GRISI FILHO, J., AMAKU, M., OSSADA, R., S MARQUES, F (2022). _epinemo: An R Package for EPIdemiological NEtwork MOdels_. R package version 0.0.6, <https://github.com/leb-fmvz-usp/epinemo>

GUEDES, I. B.; BOTTENE, I. F. N.; MONTEIRO, L. A. R. C.; LEAL FILHO, J. M.; HEINEMANN, M. B.; AMAKU, M.; GRISI-FILHO, J. H. H.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F.; TELLES, E. O.; GONÇALVES, V. S. P.; FERREIRA NETO, J. S. Prevalence and risk factors for bovine tuberculosis in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3579-3588, 2016. Suplemento 2.

HADORN, D. C.; STÄRK, K. D.C.. Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. **Veterinary Research**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 57, 25 jul. 2008. EDP Sciences. http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2008033

HOINVILLE, L.J.; ALBAN, L.; DREWE, J.A.; GIBBENS, J.C.; GUSTAFSON, L.; HÄSLER, B.; SAEGERMAN, C.; SALMAN, M.; STÄRK, K.D.C.. Proposed terms and concepts for describing and evaluating animal-health surveillance systems. **Preventive Veterinary Medicine**, [S.L.], v. 112, n. 1-2, p. 1-12, out. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.06.006.

HUMPHREY, H. M; A ORLOSKI, K.; OLEA-POPELKA, F. J. Bovine tuberculosis slaughter surveillance in the United States 2001–2010: assessment of its traceback investigation function. **Bmc Veterinary Research**, [S.L.], v. 10, n. 1, 15 ago. 2014. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1186/s12917-014-0182-y.

HUNEAU, A.; BOUQUIN-LENEVEU, S. L.; MOHAMMED, D.; MATEUS, A.; STÄRK, K.; ALONSO, S.; ELLERBROEK, L.; LINDBERG, A. Contribution of meat inspection to animal health surveillance in Poultry. **Efsa Supporting Publications**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1-131, jun. 2012. . http://dx.doi.org/10.2903/sp.efsa.2012.EN-287

IBGE (Instituto de Geografia e Bioestatística). . **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. 2022b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9203-pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html?=&t=destaques. Acesso em: 22 jun. 2022.

IBGE (Instituto de Geografia e Bioestatística). **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal**. 2022a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques. Acesso em: 22 jun. 2022.

IMEA (Mato Grosso). Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **PANORAMA DA PECUÁRIA DE MATO GROSSO**. 8, 2018. 13 p.

INDEA (INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO MATO GROSSO). **Tuberculose Bovina**. Disponível em: http://www.indea.mt.gov.br/-/8523082-tuberculose-bovina?ciclo=. Acesso em: 22 jun. 2022.

LAGE, A. P.; ROXO, E.; MÜLLER, E.; POESTER, F.; CAVALLÉRO, J. C. M.; FERREIRA NETO, J. S.; MOTA, P. M. P. C.; GONÇALVES, V. S. P. Programa nacional de controle e erradicação da brucelose e da tuberculose animal (PNCEBT). Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. 188 p. (Manual técnico).

LAVAGNOLI, M. R.; AMORIM, B. M. DE; MACHADO, G. P.; DEMONER, L. DE C.; ZANINI, M. S.; ANTUNES, J. M. A. DE P. Tuberculosis in bovines from Espírito Santo State. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 71-78, 2010.

LIMA, P. B.; NASCIMENTO, D. L.; ALMEIDA, E. C.; PONTUAL, K. A. Q.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F.; GONÇALVES, V. S. P.; TELLES, E. O.; GRISI-FILHO, J. H. H.; HEINEMANN, M. B.; SILVA, J. C. R.; FERREIRA NETO, J. S. Epidemiological situation of bovine tuberculosis in the state of Pernambuco, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3601-3610, 2016. Suplemento 2.

MABLESON, H. E.; OKELLO, A.; PICOZZI, K.; WELBURN, S. C. Neglected Zoonotic Diseases - The Long and Winding Road to Advocacy. **Plos Neglected Tropical Diseases**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 5, 5 jun. 2014. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0002800

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; PEREZ, A. M.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M.. Social Network Analysis. Review of General Concepts and Use in Preventive Veterinary Medicine. **Transboundary And Emerging Diseases**, [S.L.], v. 56, n. 4, p. 109-120, maio 2009. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1865-1682.2009.01073.x

MATO GROSSO (Estado). Portaria nº 137, de 12 de novembro de 2019. . Cuiabá.

MATO GROSSO. Indea. Governo de Mato Grosso. **Sanidade Animal**: tuberculose bovina. Tuberculose Bovina. Disponível em: http://www.indea.mt.gov.br/-/8523082-tuberculose-bovina?ciclo. Acesso em: 21 jun. 2022.

MICROSOFT, WESTON S (2022a). foreach: Provides Foreach Looping Construct. R package version 1.5.2, <https://CRAN.R-project.org/package=foreach>.

MICROSOFT, WESTON S (2022b). doParallel: Foreach Parallel Adaptor for the 'parallel' Package. R package version 1.0.17, <https://CRAN.R-project.org/package=doParallel>.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **ComexStat**: comexvis. ComexVis. Disponível em: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis. Acesso em: 21 jun. 2022.

NEGREIROS, R. L., GRISI-FILHO, J. H. H., DIAS, R. A., FERREIRA, F., FERREIRA NETO, J. S., OSSADA, R., & AMAKU, M. (2020). Analysis of the cattle trade network in the state of Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, 57(4), e171635. https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.171635

NÉSPOLI, J. M. B.; NEGREIROS, R. L.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; GRISI-FILHO, J. H. H.; GONÇALVES, V. S. P.; Ferreira Neto, J. S. Epidemiological situation of bovine tuberculosis in the state of Mato

Grosso, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3589-3600, 2016. Suplemento 2.

Neuwirth E (2022). _RColorBrewer: ColorBrewer Palettes_. R package version 1.1-3, <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>

NÖREMARK, M.; WIDGREN, S.. EpiContactTrace: an R-package for contact tracing during livestock disease outbreaks and for risk-based surveillance. **Bmc Veterinary Research**, v. 71, n. 10, p.2-9, 2014

PAOLI, T. M. P. **Avaliação de Risco Relativo para Tuberculose Bovina em Municípios do Estado do Espírito Santo a Partir de Dados de Matadouros.** 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Veterinárias, Centro de Ciência agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

PASCUAL-LINAZA, A. V. et al. Efficiency of slaughterhouse surveillance for the detection of bovine tuberculosis in cattle in Northern Ireland. Epidemiology And Infection, v. 145, n. 5, p.995-1005, 28 dez. 2016. Cambridge University Press (CUP). http://dx.doi.org/10.1017/s0950268816003095.

PENA, C. S.. **Análise das Redes de Trânsito Animal Integrada à Simulação da Difusão de Enfermidades Infecciosas.** 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estatística, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PROBST ,C., FREULING, C., MOSER,I., GEUE, L., KÖHLER, H., CONRATHS, F J ., HOTZEL, H., LIEBLER-TENORIO, E M., KRAMER, M. Bovine tuberculosis: making a case for effective surveillance. **Epidemiology And Infection**, v. 139, n. 1, p.105-112, 15 abr. 2010. Cambridge University Press (CUP). http://dx.doi.org/10.1017/s0950268810000786.

QUEIROZ, M. R.; GROFF, A. C. M.; SILVA, N. S.; GRISI-FILHO, J. H. H.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; FERREIRA NETO, J. S.; GONÇALVES, V. S. P. Ferreira, F. Epidemiological status of bovine tuberculosis in the

state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3647-3658, 2016. Suplemento 2.

R Core Team (2020). **R:** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

RIBEIRO, L. A.; GONÇALVES, V. S. P.; FRANCISCO, P. F. C.; MOTA, A. L. A. A.; NASCIMENTO, G. T.; LICURGO, J. B.; FERREIRA, F.; GRISI-FILHO, J. H. H.; FERREIRA NETO, J. S.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; BORGES, J. R. J. Epidemiological status of bovine tuberculosis in the Federal District of Brazil. **Semina:**Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3561-3566, 2016. Suplemento 2.

ROCHA, W. V.; JAYME, V. S.; MOTA, A. L. A. A.; BRITO, W. M. E. D.; PIRES, G. R. C.; GRISI- FILHO, J. H. H.; DIAS, R. A.; AMAKU, M.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; FERREIRA, F.; FERREIRA NETO, J. S.; GONÇALVES, V. S. P. Prevalence and herd-level risk factors of bovine tuberculosis in the State of Goiás, Brazil. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3625-3628, 2016. Suplemento 2.

SILVA, M. C. P.; GONÇALVES, V. S. P.; MOTA, A. L. A. A.; KOLODA, M.; FERREIRA NETO, J. S.; GRISI-FILHO, J. H. H.; DIAS, R. A.; AMAKU, M.; TELLES, E. O.; FERREIRA, F.; HEINEMANN, M. B.; ALFIERI, A. A.; MULLER, E. E. Prevalence and herd-level risk factors for bovine tuberculosis in the state of Paraná, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3611-3624, 2016. Suplemento 2.

STIRLING, J. M.; EZE, J. I.; FOSTER, G.; REEVES, A.; GUNN, G. J.; TONGUE, S. C.. The Use of Sheep Movement Data to Inform Design and Interpretation of Slaughterhouse-Based Surveillance Activities. **Frontiers In Veterinary Science**, [S.L.], v. 7, n. -, 24 abr. 2020. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2020.00205.

THE CENTER FOR FOOD SECURITY & PUBLIC HEALTH. Iowa State University. College of Veterinary Medicine. Anna Rovid Spickler. Bovine Tuberculosis. 2009. Disponível em:

http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/disease.php?name=bovine-tuberculosis&lang=en

VELOSO, F. P.; BAUMGARTEN, K. D.; MOTA, A. L. A. A.; FERREIRA, F.; FERREIRA NETO, J. S.; GRISI-FILHO, J. H. H.; DIAS, R. A.; AMAKU, M.; TELLES, E. O.; HEINEMANN, M. B.; GONÇALVES, V. S. P. Prevalence and herd-level risk factors of bovine tuberculosis in the State of Santa Catarina, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3659-3672, 2016. Suplemento 2.

VELOSO, F. P., BAUMGARTEN, K. D., MOTA, A. L. A. DE A., FERREIRA, F., FERREIRA NETO, J. S., GRISI-FILHO, J. H. H., DIAS, R. A., AMAKU, M., TELLES, E. O., & GONÇALVES, V. S. P.. Prevalence and herd-level risk factors of bovine tuberculosis in the State of Santa Catarina. **Semina:** Ciências Agrárias, [s.l.], v. 37, n. 52, p.3659-3672, 9 nov. 2016. Universidade Estadual de Londrina. http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n5supl2p3659.

VENDRAME, F. B.; AMAKU, M.; FERREIRA, F.; TELLES, E. O.; GRISI-FILHO, J. H. H.; GONÇALVES, V. S. P.; HEINEMANN, M. B.; FERREIRA NETO, J. S.; DIAS, R. A. Epidemiologic characterization of bovine tuberculosis in the State of Rondônia, Brazil. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3639-3646, 2016. Suplemento 2.

WATSON, E. N., MILNES, A., NICHOLSON, R., SNOW, L., ELY, E., HOINVILLE, L. J. & COOK, A. J. C. (2011) Assessing the coverage of farmed animal populations included in the Veterinary Laboratories Agency scanning surveillance activities in England: methods and issues. **Proceedings of the International Conference on Animal Health Surveillance**. Lyon, France, May 17th to 20th, 2011.

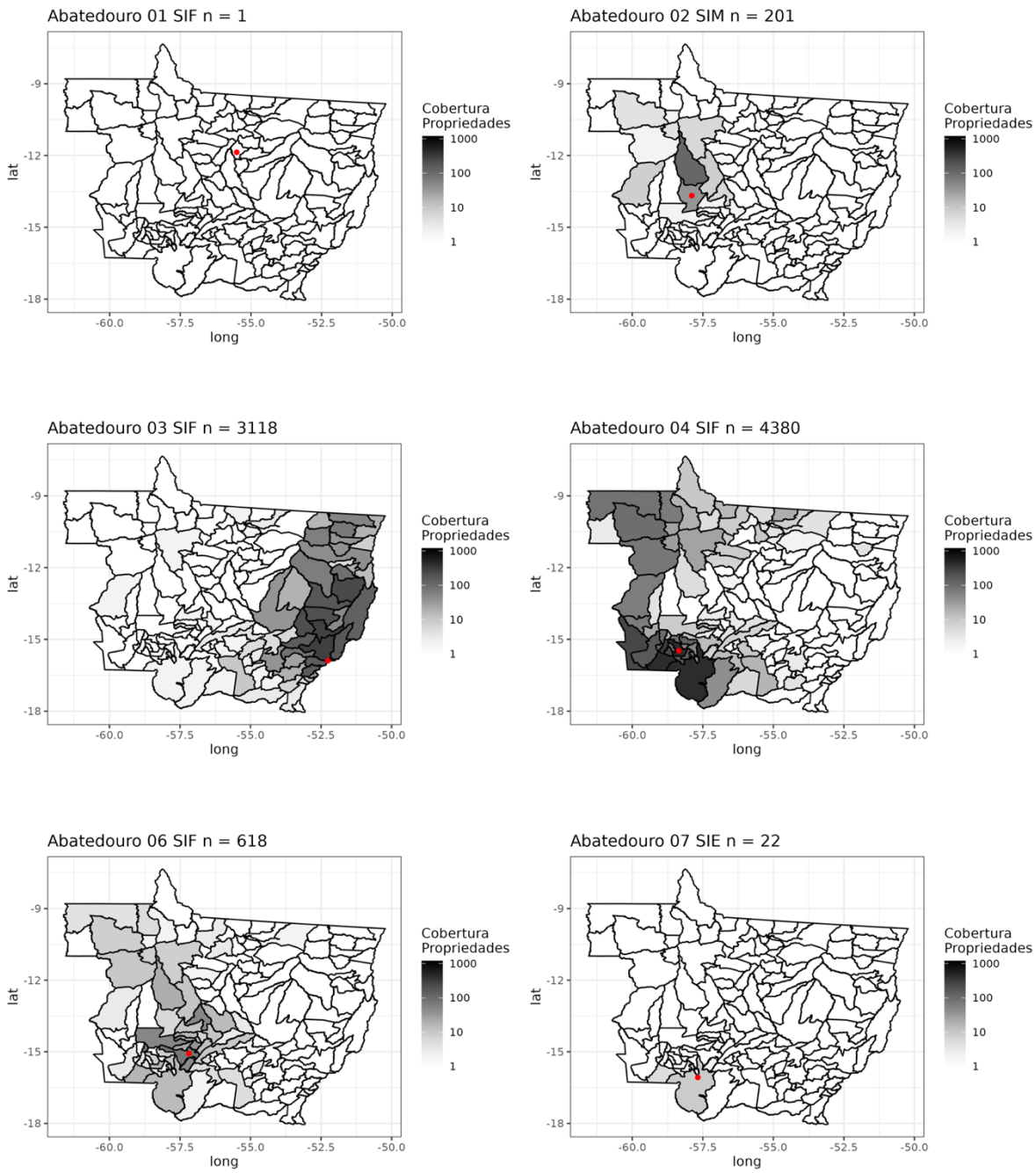
WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

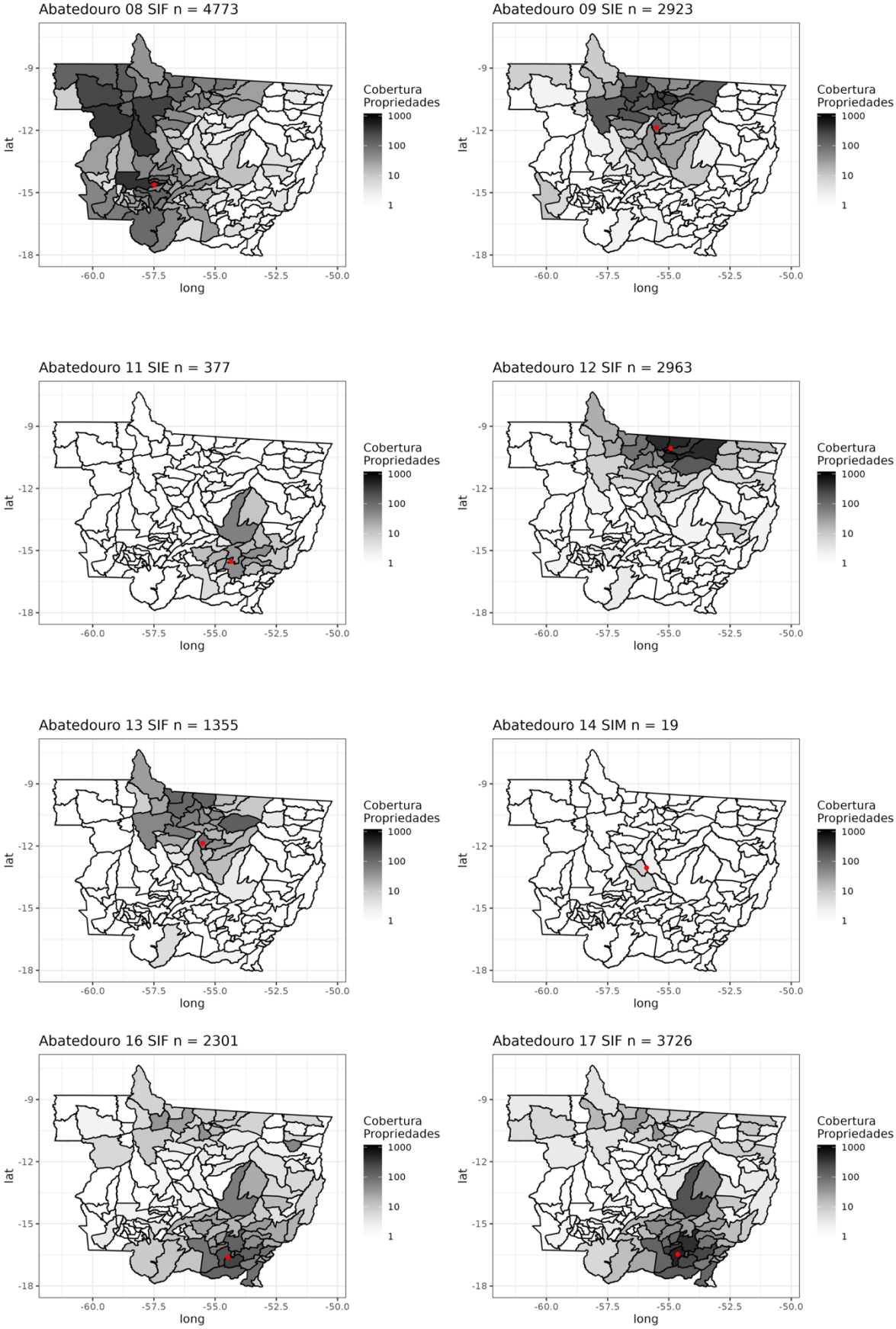
WICKHAM et al., (2019). Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software, 4(43), 1686, https://doi.org/10.21105/joss.01686

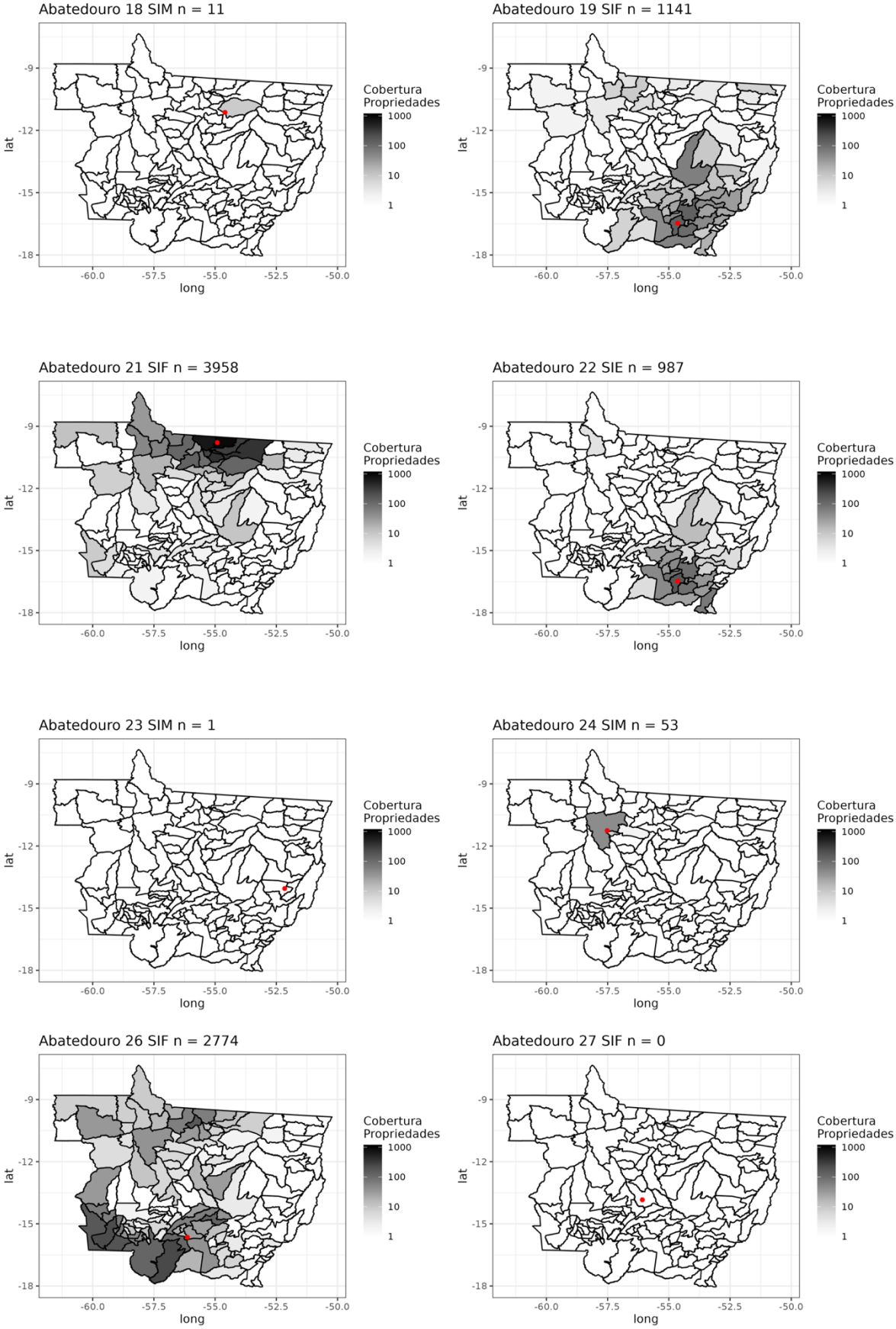
WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global tuberculosis report 2020. Geneva, 2020.

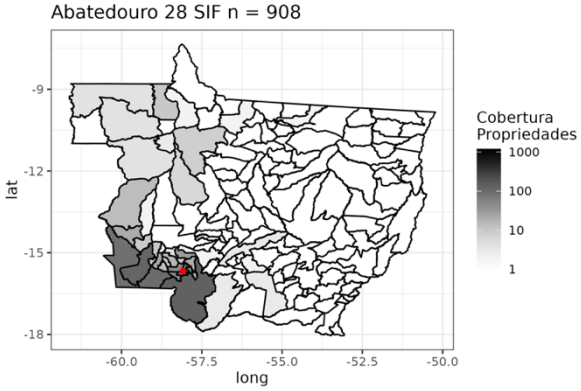
APÊNDICES

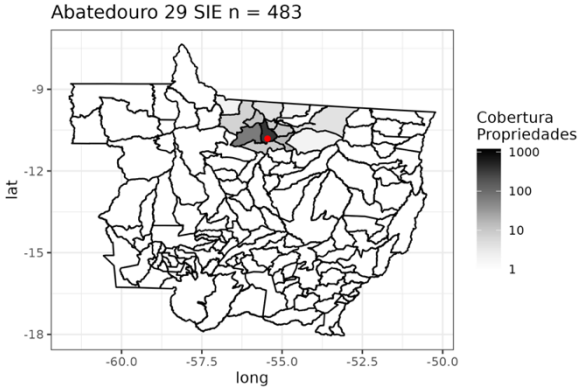
APÊNDICE A – Distribuição espacial das propriedades cobertas por cada abatedouro da rede, localizado no ponto vermelho, por município do estado do Mato Grosso.

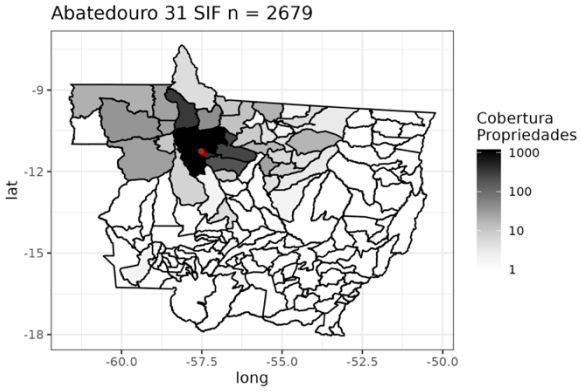


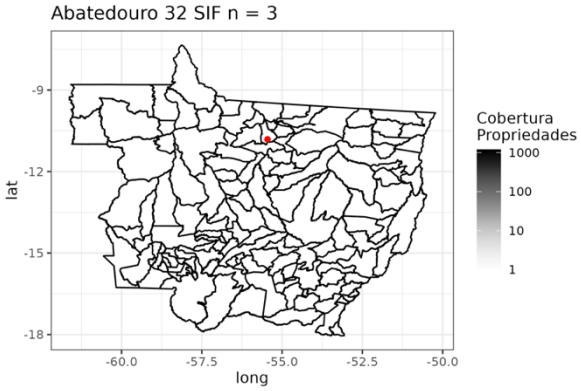

Abatedouro 08 SIF n = 4773
Abatedouro 09 SIE n = 2923
Abatedouro 11 SIE n = 377
Abatedouro 12 SIF n = 2963
Abatedouro 13 SIF n = 1355
Abatedouro 14 SIM n = 19
Abatedouro 16 SIF n = 2301
Abatedouro 17 SIF n = 3726
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

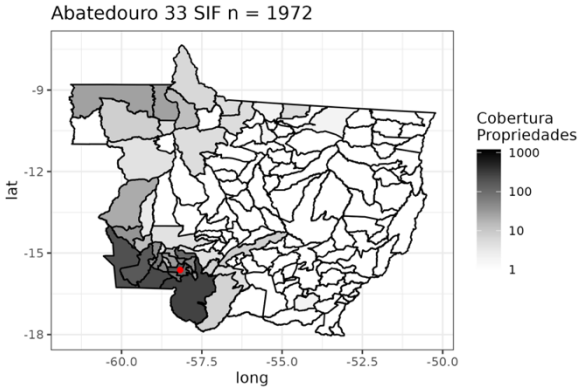

Abatedouro 18 SIM n = 11
Abatedouro 19 SIF n = 1141
Abatedouro 21 SIF n = 3958
Abatedouro 22 SIE n = 987
Abatedouro 23 SIM n = 1
Abatedouro 24 SIM n = 53
Abatedouro 26 SIF n = 2774
Abatedouro 27 SIF n = 0
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
-9
-12
-15
-18
long
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

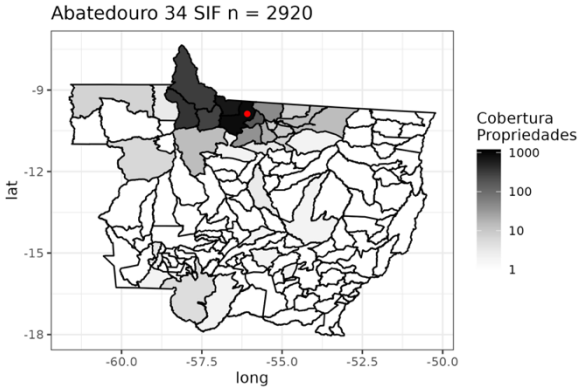

Abatedouro 28 SIF n = 908
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

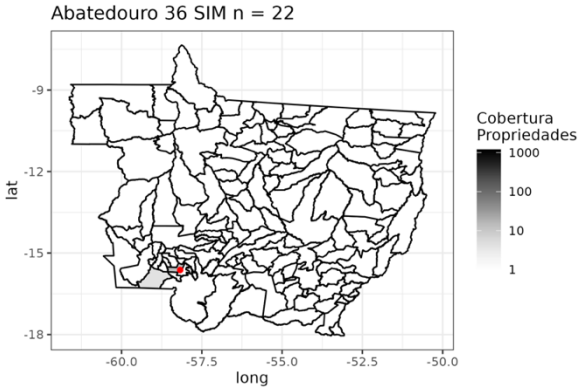

Abatedouro 29 SIE n = 483
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

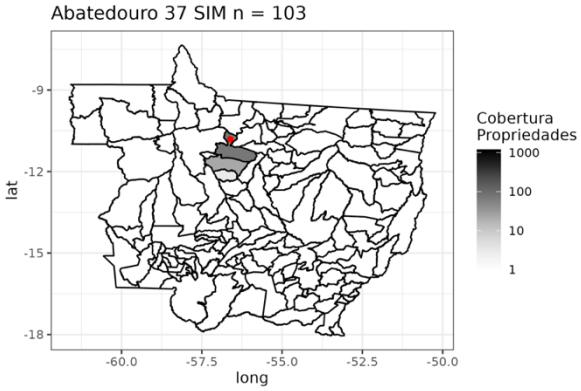

Abatedouro 31 SIF n = 2679
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

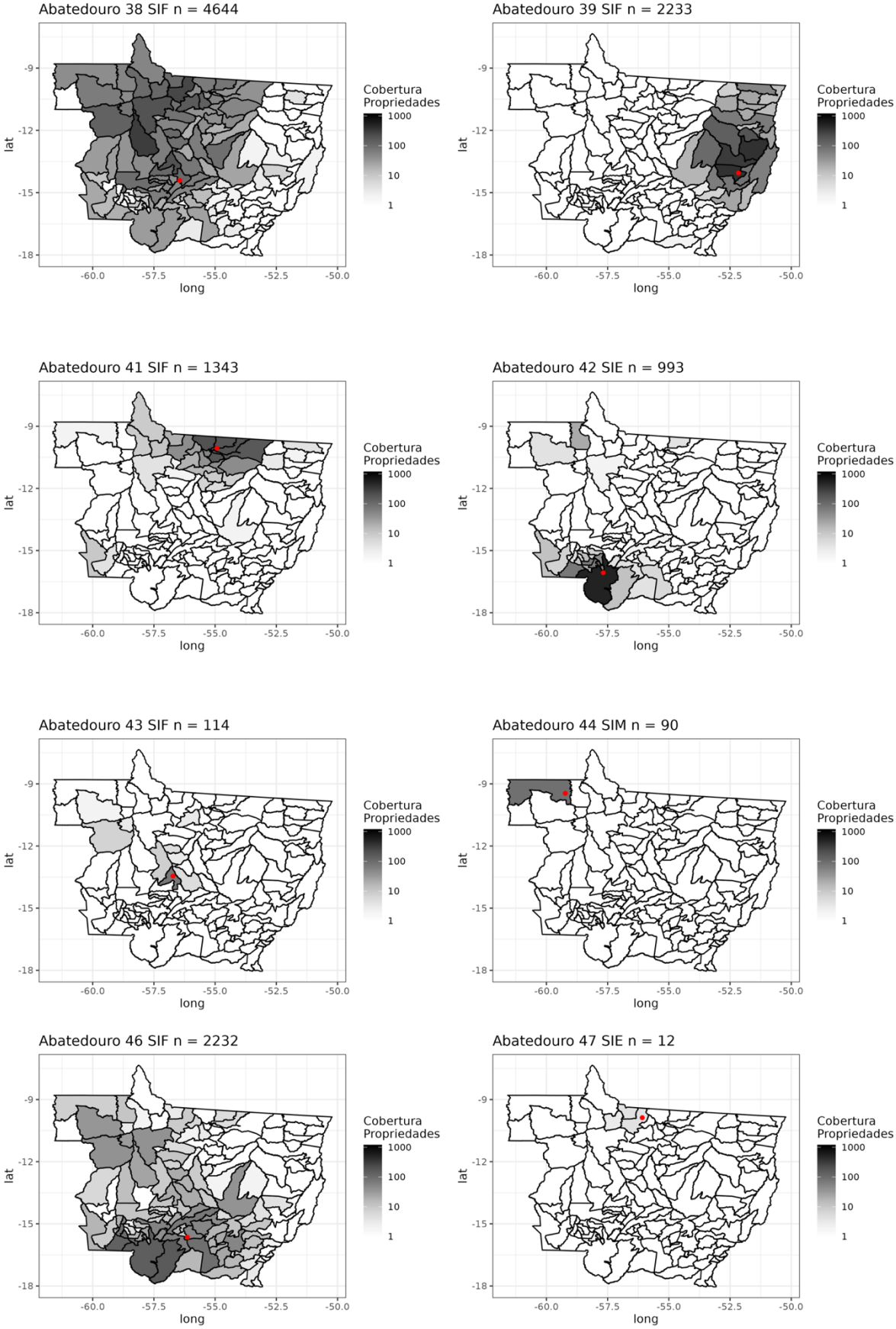

Abatedouro 32 SIF n = 3
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

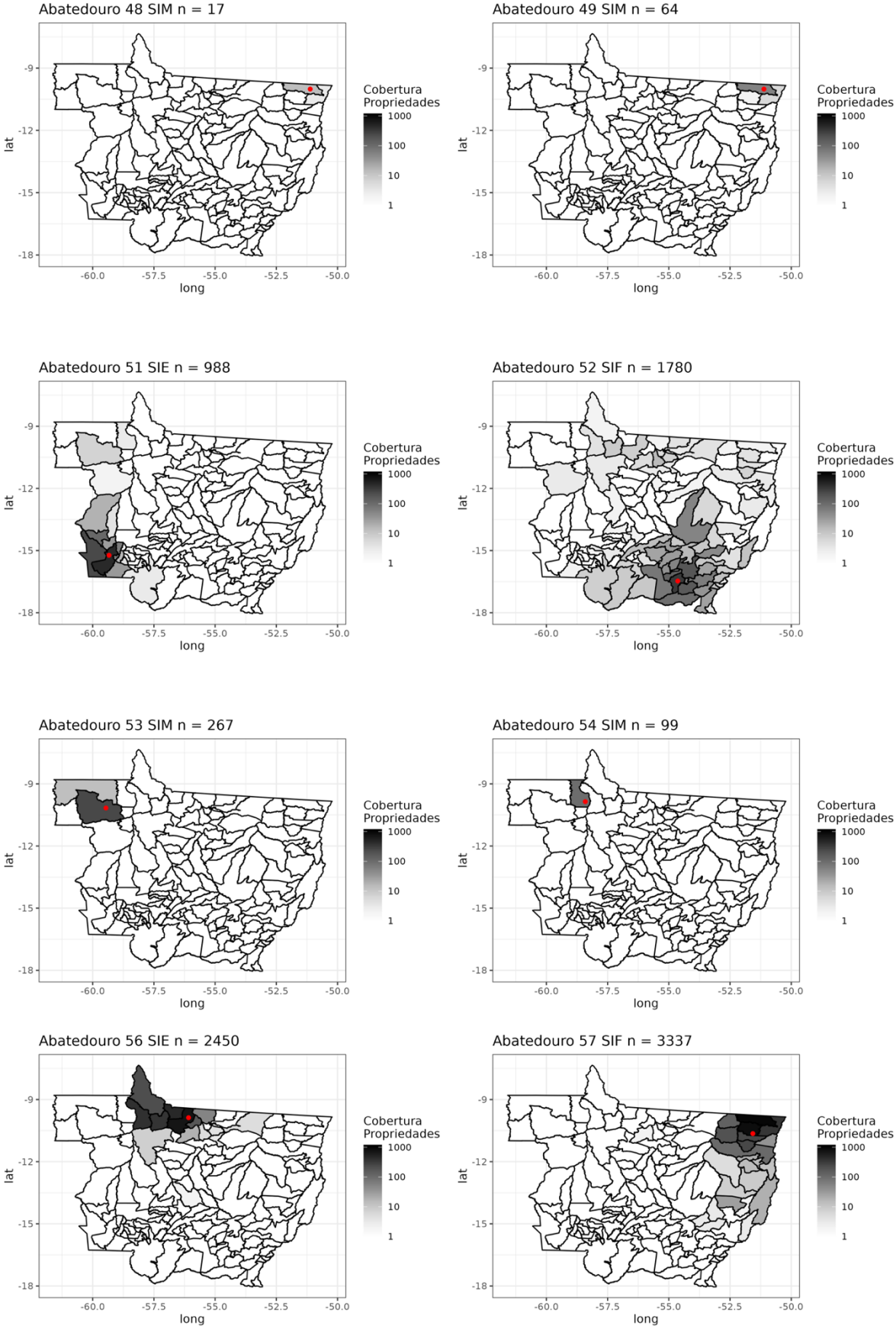

Abatedouro 33 SIF n = 1972
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

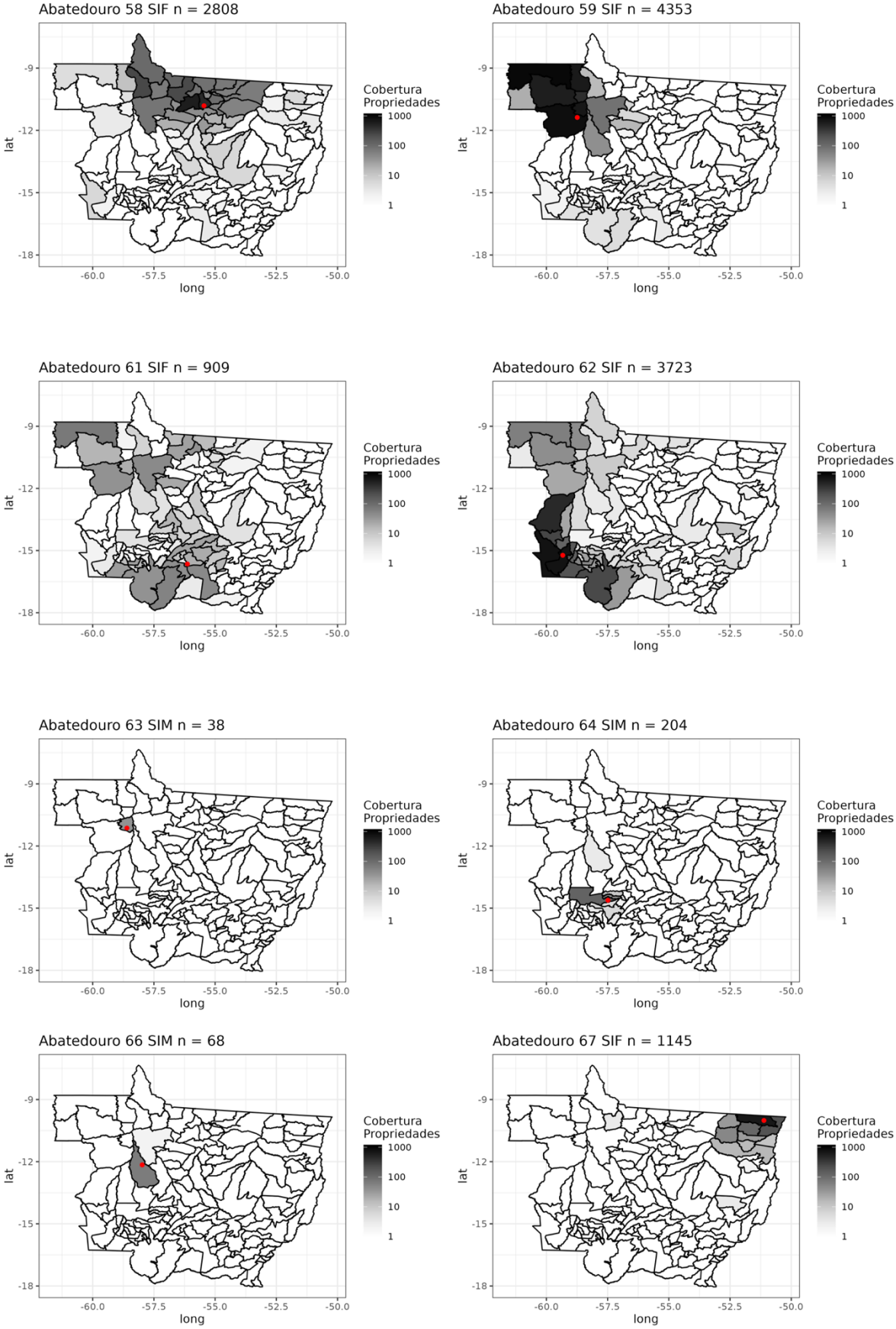

Abatedouro 34 SIF n = 2920
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

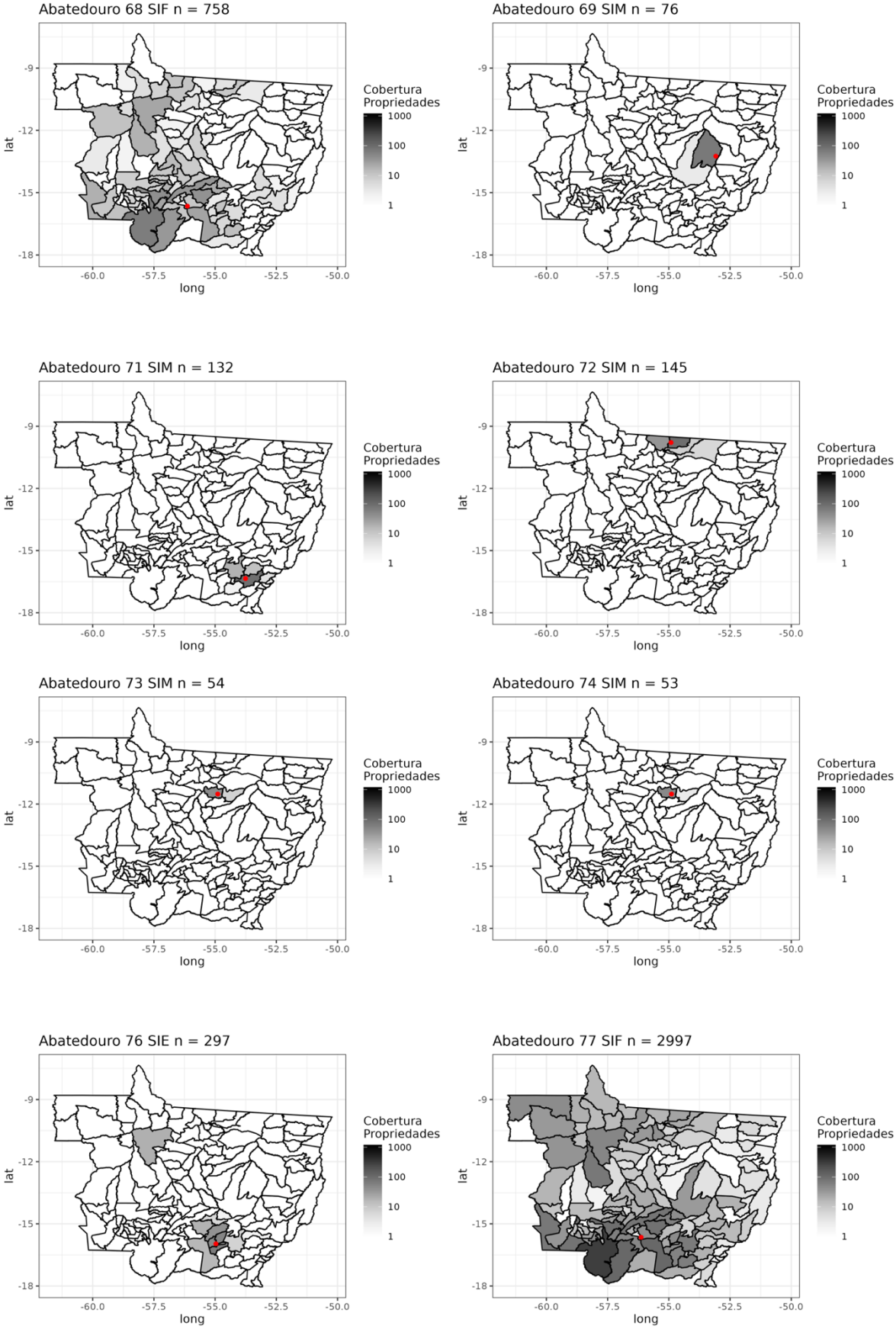

Abatedouro 36 SIM n = 22
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

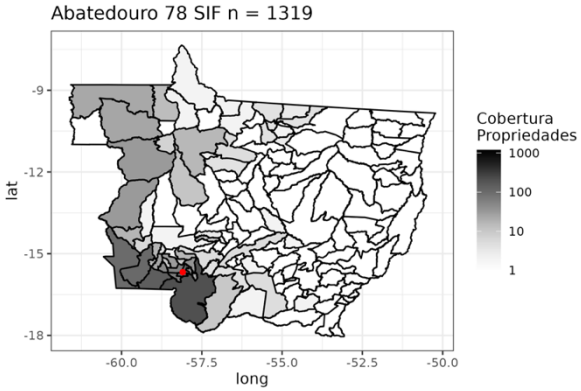

Abatedouro 37 SIM n = 103
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

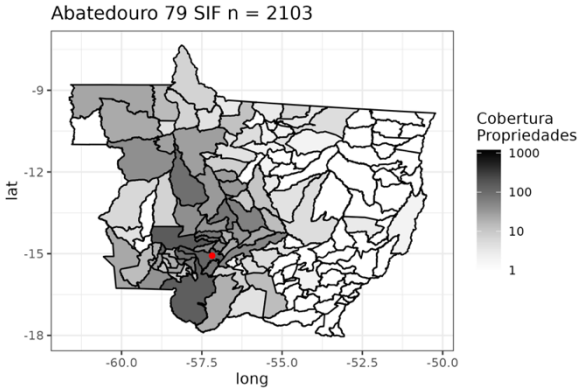

Abatedouro 38 SIF n = 4644
Abatedouro 39 SIF n = 2233
Abatedouro 41 SIF n = 1343
Abatedouro 42 SIE n = 993
Abatedouro 43 SIF n = 114
Abatedouro 44 SIM n = 90
Abatedouro 46 SIF n = 2232
Abatedouro 47 SIE n = 12
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

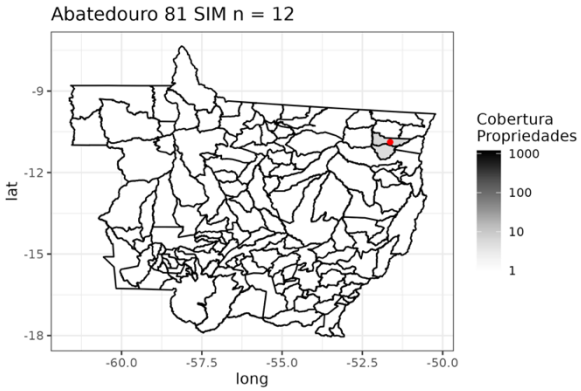

Abatedouro 48 SIM n = 17
Abatedouro 49 SIM n = 64
Abatedouro 51 SIE n = 988
Abatedouro 52 SIF n = 1780
Abatedouro 53 SIM n = 267
Abatedouro 54 SIM n = 99
Abatedouro 56 SIE n = 2450
Abatedouro 57 SIF n = 3337
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

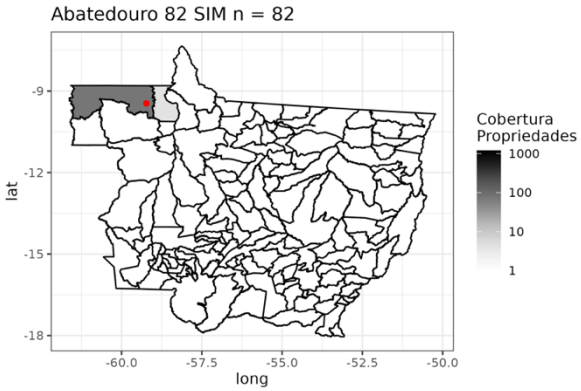

Abatedouro 58 SIF n = 2808
Abatedouro 59 SIF n = 4353
Abatedouro 61 SIF n = 909
Abatedouro 62 SIF n = 3723
Abatedouro 63 SIM n = 38
Abatedouro 64 SIM n = 204
Abatedouro 66 SIM n = 68
Abatedouro 67 SIF n = 1145
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

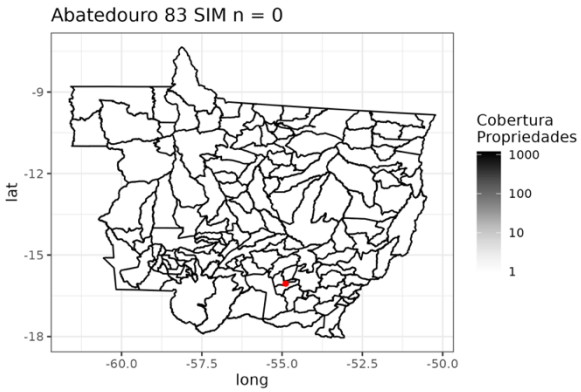

Abatedouro 68 SIF n = 758
Abatedouro 69 SIM n = 76
Abatedouro 71 SIM n = 132
Abatedouro 72 SIM n = 145
Abatedouro 73 SIM n = 54
Abatedouro 74 SIM n = 53
Abatedouro 76 SIE n = 297
Abatedouro 77 SIF n = 2997
Cobertura Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0

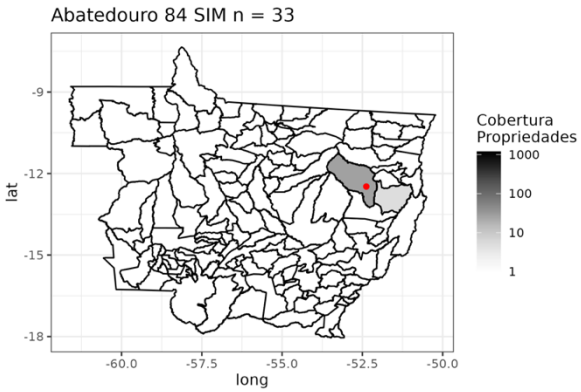

Abatedouro 78 SIF n = 1319
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1


Abatedouro 79 SIF n = 2103
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1


Abatedouro 81 SIM n = 12
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1


Abatedouro 82 SIM n = 82
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1


Abatedouro 83 SIM n = 0
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0


Abatedouro 84 SIM n = 33
Cobertura
Propriedades
1000
100
10
1
lat
long
-9
-12
-15
-18
-60.0
-57.5
-55.0
-52.5
-50.0