

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Estudo da codigestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos:
análise da viabilidade técnica e econômica**

Jucimar Augusto Pinto

Itajubá, junho de 2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

Jucimar Augusto Pinto

**Estudo da codigestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos:
análise da viabilidade técnica e econômica**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

**Orientadora: Prof.^a Dra. Regina Mambeli Barros
Co-Orientador: Prof. Dr. Ivan Felipe dos Santos Silva**

**Junho de 2021
Itajubá**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por todas as bênçãos concedidas, por me fortalecer e dar condições de trabalhar por meus objetivos.

Agradeço aos meus pais Joaquim e Rosilda e a meu irmão Jucilei, meus exemplos de amor, honestidade, educação e amizade.

Agradeço a minha esposa Wanessa por todo amor, companheirismo e por estar ao meu lado compartilhando sonhos e ajudando a realiza-los.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Regina Mambeli Barros e Professor Doutor Ivan Felipe dos Santos Silva pelos ensinamentos partilhados e sobretudo pela amizade concretizada durante a caminhada, muito obrigado.

Aos amigos do mestrado cuja vivência rendeu bons momentos de aprendizado e descontração, obrigado.

Agradeço aos membros da banca que dedicaram seu tempo e contribuíram no enriquecimento deste trabalho.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ó Mestre, fazei que eu procure mais:
consolar, que ser consolado;
compreender, que ser compreendido;
amar, que ser amado.
Pois é dando que se recebe.
É perdoando que se é perdoado.
E é morrendo que se vive para a vida eterna.

Trecho da Oração de São Francisco

RESUMO

O crescimento da produtividade bovina e suína é resultado da modernização dos sistemas de produção intensivo de confinamento. No entanto, o acúmulo de dejetos, na ausência de saneamento, impacta o meio ambiente e favorece a proliferação de doenças. O objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo teórico do aproveitamento energético do biogás proveniente da codigestão de dejetos bovinos e suínos em biodigestores anaeróbios, convertendo um passivo ambiental em fonte de energia renovável e produção de digestato, um biofertilizante natural. A mistura de dois ou mais tipos de substratos visa a otimizar a funcionalidade dos biodigestores anaeróbios nos aspectos quali-quantitativo proporcionando processos contínuos de produção de biogás. A análise foi feita utilizando dados teóricos da literatura de produção diária de dejetos por animal em que a melhor geração quantitativa de metano foi a proporção de 4 partes de dejetos de bovinos por 1 parte de dejetos de suínos. Após a análise da produção de biogás do substrato realizou-se estudo da viabilidade técnica e econômica por meio das ferramentas de projeção de investimentos Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Custo Nivelado de Energia (LCOE), bem como o mapeamento do potencial de codigestão identificado e o estudo de emissões evitadas de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas a essa aplicação. Os resultados mostraram que empreendimentos de plantas de biogás resultante da codigestão de dejetos passam a ser viáveis a partir de 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos. Essa quantidade de animais e proporção de dejetos resulta na vazão de metano de $163,41 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ o que corresponde a um potencial energético de $128 \text{ MWh} \cdot \text{ano}^{-1}$ classificando o empreendimento como microgeração distribuída conforme resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica N° 482/2012 e N° 687/2015. O presente trabalho mostrou que os biodigestores são importantes mecanismos de saneamento para o meio rural e agroindústria melhorando as condições de vida e agregando valor à cadeia produtiva do agronegócio.

Palavras-chave: Biogás. Energia renovável. Codigestão. Dejetos bovinos e suínos. Viabilidade técnica-econômica.

ABSTRACT

The growth in bovine and swine productivity is the result of the modernization of intensive confinement production systems. However, the accumulation of waste, in the absence of sanitation, impacts the environment and favors the proliferation of diseases. The objective of the present work was to carry out a theoretical study of the energy utilization of biogas from the co-digestion of bovine and swine manure in anaerobic digesters, converting an environmental liability into a source of clean energy and production of digested organic matter, a natural biofertilizer. The mixture of two or more types of substrates aims to optimize the functionality of anaerobic digesters in the qualitative and quantitative aspects, providing continuous processes for the production of biogas. The analysis was made using theoretical data from the literature of daily production of manure per animal in which the best quantitative methane generation was the ratio of 4 parts of cattle manure to 1 part of pig manure. After analyzing the biogas production of the substrate, a technical and economic feasibility study was carried out using the investment projection tools Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Levelized Energy Cost (LCOE), as well as the mapping of the identified codigestion potential and the study of avoided emissions of Greenhouse Gases (GHG) associated with this application. The results showed that enterprises of biogas plants resulting from the co-management of manure become viable from 1,410 heads of cattle and 2,350 heads of pigs. This quantity of animals and proportion of waste results in a methane flow of $163,41 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, which corresponds to an energy potential of $128 \text{ MWh} \cdot \text{year}^{-1}$, classifying the project as distributed microgeneration according to the resolutions of the National Electric Energy Agency No. 482 / 2012 and No. 687/2015. The present study showed that biodigesters are important sanitation mechanisms for rural areas and agro-industry, improving living conditions and adding value to the agribusiness production chain.

Keywords: Biogas. Renewable energy. Codigestion. Bovine and swine manure. Technical and economic feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução da produtividade agrícola brasileira, 1977-2017.....	20
Figura 2.2 – Efetivo de rebanho bovino no Brasil, 2016 e 2019.....	21
Figura 2.3 – Fluxograma das principais fases dos sistemas de manejo de dejetos.....	23
Figura 2.4 – Efetivo de rebanho suíno no Brasil, 2016 e 2019.	24
Figura 2.5 – Sistema de criação de suínos em confinamento.....	25
Figura 2.6 – Cartograma - Bovinos do Brasil por Número de estabelecimentos.....	26
Figura 2.7 – Cartograma - Bovinos do Brasil por Efetivo de Rebanho.....	27
Figura 2.8 – Cartograma - Suínos do Brasil por Número de estabelecimentos.....	28
Figura 2.9 – Cartograma - Suínos do Brasil por Efetivo de Rebanho.....	29
Figura 2.10 – Emissões de GEE por setor no Brasil em 2018 e 2019.....	32
Figura 2.11 – Oferta Interna de Energia por Fonte.....	33
Figura 2.12 – Fluxograma dos processos de conversão de energia da biomassa.....	34
Figura 2.13 – Fluxograma do processo de digestão anaeróbia.....	36
Figura 2.14 – Processo de obtenção de biofertilizante.....	43
Figura 2.15 – Chorumeira tratorizada aplicando biofertilizante.....	44
Figura 2.16 – Aplicação de fertilizantes diluídos em água.....	44
Figura 3.1 – Metodologia adotada pelo estudo.....	45
Figura 4.1 – Vazão estimada de CH ₄ em relação a mistura de dejetos da codigestão	58
Figura 4.2 – Potência estimada em relação a mistura de dejetos da codigestão.....	59
Figura 4.3 – Energia gerada em relação a mistura de dejetos da codigestão	59
Figura 4.4 – Gráfico do VPL em relação a mistura de dejetos da codigestão.....	61
Figura 4.5 – Gráfico do Custo Nivelado de Energia (LCOE)	62
Figura 4.6 – Gráfico de Emissões Evitadas de GEE	63
Figura 4.7 – Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Minas Gerais	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Planejamento de Produção de Suínos: Intervalo entre lotes.....	25
Quadro 2.2 – Constituição do biogás.....	38
Quadro 2.3 – Tecnologias disponíveis para geração de eletricidade a partir de biomassa para diferentes faixas de energia	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos (Unidades)	26
Tabela 2.2 – Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças)	27
Tabela 2.3 – Número de estabelecimentos agropecuários com suínos (Unidades).....	28
Tabela 2.4 – Número de cabeças de suínos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças)...	29
Tabela 2.5 – GEE e valor correspondente para potencial de aquecimento global	31
Tabela 2.6 – Requisitos ambientais dos microrganismos durante processos da biodigestão anaeróbia.....	36
Tabela 2.7 – Classificação, por substrato, das plantas de biogás com fins energéticos em operação no Brasil	39
Tabela 3.1 – Produção diária de dejetos de algumas espécies de animais	46
Tabela 3.2 – Produção média de dejetos por diferentes categorias de suínos	47
Tabela 3.3 – Potencial energético da proporção de mistura de dejetos	49
Tabela 3.4 – Concentração máxima de metano durante a digestão anaeróbia e codigestão anaeróbia de gado e porco após 529 horas	49
Tabela 3.5 – Custos de equipamentos para planta de biodigestor corrigido pelo IGP-M	51
Tabela 4.1 – Correlação entre número de animais, VPL e TIR.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.

CGHs – Centrais Geradoras Hidrelétricas.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CPR – Cédula de Produto Rural.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto.

FC – *Fuel cell* (Célula de combustível).

FGS – Fundo Garantidor Solidário.

GDL – Gás de Lixo.

GEE – Gases de Efeito Estufa.

GMT – Gas micro-turbine (Microturbina a gás).

GT – *Gas turbine* (Turbina a gás).

GWP – *Global Warming Potential*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICE – *Internal combustion engine* (Motor de combustão interna).

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura.

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas).

LCOE – *Levelized Cost of Energy* (Custo Nivelado da Energia).

MCI – Motor a combustão Interna.

O&M – Operação e Manutenção.

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ONU – Organização das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de Alta Densidade.

PIB – Produto Interno Bruto.

PNE 2050 – Plano Nacional de Energia 2050.

PVC – *Polyvinyl Chloride* (Cloro de Polivinila).

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

SE – *Stirling engine* (Motor Stirling).

SENAR – Sistema Nacional de Aprendizagem Rural.

SIN – Sistema Interligado Nacional.

TIR – Taxa Interna de Retorno.

UTE – Usinas Termelétricas.

VPL – Valor Presente Líquido.

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_{CH_4} – Vazão de CH_4 ($m^3 \cdot d^{-1}$);

C(%) – Concentração máxima de metano;

E_c – Eficiência de coleta do gás;

PCI – Poder calorífico inferior do biogás ($kJ \cdot m^{-3}$);

pH – Potencial hidrogeniônico;

P – Potência (kW);

Q – Vazão de biogás (m^3/ano);

P_E – Potencial energético (m^3 de biogás $\cdot kg^{-1}$);

tCO₂eq – Tonelada de dióxido de carbono equivalente;

tep – Tonelada equivalente de petróleo;

η – Rendimento do motor de combustão interna operando em plena carga;

PDDB – Produção diária de dejetos por lote de bovinos ($kg \cdot d^{-1}$);

PDDS – Produção diária de dejetos por lote de suínos ($kg \cdot d^{-1}$);

TC – Tempo de confinamento ($h \cdot d^{-1}$);

PE – Produção específica de dejetos por categoria ($kg \cdot cabeça^{-1} \cdot d^{-1}$).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos Gerais	17
1.3	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	O agronegócio no Brasil	18
2.1.1	Bovinocultura	21
2.1.2	Suinocultura	23
2.2	Distribuição dos rebanhos bovinos e suínos no Brasil	26
2.3	Aspectos ambientais da produção de dejetos	30
2.4	Biomassa	32
2.4.1	Fundamentos da digestão anaeróbia	35
2.4.2	Biogás	37
2.5	Geração elétrica a partir do biogás	40
2.6	Mercado de micro e minigeração distribuída	41
2.7	Biofertilizante	42
3	METODOLOGIA	45
3.1	Estimativa da quantidade de dejetos	46
3.1.1	Dejetos de bovinos	46
3.1.2	Dejetos de suínos	47
3.2	Cálculo da produção diária de biogás	48
3.3	Cálculo do potencial energético do biogás	49
3.4	Análise de viabilidade econômica	51
3.4.1	Cálculo do investimento	51
3.4.2	Cálculo estimado da receita	52
3.4.3	Cálculo do VPL	53
3.4.4	Cálculo da TIR	53
3.4.5	Cálculo do LCOE	54
3.5	Cálculo de emissões evitadas de GEE	55
3.6	Mapeamento	56
4	RESULTADOS	58

4.1	Resultados de potencial energético da codigestão de dejetos	58
4.2	Análise do VPL e da TIR	60
4.3	Análise do LCOE	61
4.4	Análise de emissões evitadas de GEE	63
4.5	Mapeamento do potencial de geração de energia pelo uso do biogás da codigestão de dejetos bovinos e suínos no Brasil	64
5	CONCLUSÕES	67
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
	APÊNDICE – A: Correlação entre o número de animais, Vazão de CH₄, Potência e Energia	69
	APÊNDICE – B: Correlação entre o número de animais, VPL, TIR e Emissões evitadas de GEE	74
	APÊNDICE – C: Mapeamento	79
	REFERÊNCIAS	106

1 INTRODUÇÃO

A tendência de crescimento populacional vem acompanhada da necessidade de aumento da produção de alimentos, assim como do desenvolvimento e ampliação de fontes de energia renováveis e menos poluentes para suprir a demanda futura. Ademais, faz-se necessário atentar para medidas de preservação ambiental objetivando-se o desenvolvimento sustentável no âmbito da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O agronegócio representa uma parcela de grande importância para o desenvolvimento econômico mundial. No Brasil é destaque dentre os setores da economia, cujo crescimento, no acumulado do ano 2020 foi de 8,48%, correspondendo a aproximadamente 25% do Produto Interno Bruto (PIB) divulgado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (CEPEA, 2020).

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos e suínos do mundo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), estima-se que, o efetivo dos rebanhos de bovinos seja em torno de 215 milhões e o efetivo dos rebanhos de suínos, cerca de 41 milhões.

O setor agropecuário, mais especificamente de bovinocultura e suinocultura, tem desenvolvido os modos de produção intensivo e semi-intensivo, caracterizados principalmente pela acomodação dos animais em confinamento. Dentre os problemas destes sistemas de produção, está o acúmulo dos dejetos resultando em um passivo ambiental que pode causar poluição e contaminação do solo, da água e do ar e eventualmente, causar doenças tanto aos animais confinados quanto ao ser humano.

Do ponto de vista legislativo, quanto ao tratamento e disposição final dos efluentes oriundos da criação no sistema intensivo de gado e suínos no Brasil, não há normativa específica e observa-se então, critérios estabelecidos à Resolução CONAMA nº 430 de 2011 (CONAMA, 2011) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Especificamente o seu Artigo 16 estabelece os requisitos de lançamento de qualquer fonte poluidora a ser lançado num corpo receptor. Existem legislações estaduais que podem restringir ainda mais esses requisitos mínimos de tratamento do efluente.

Os biodigestores de fluxo contínuo com correto dimensionamento, construção e operação, apresentam uma potencial solução para destinar os dejetos oriundos de animais criados em confinamento de modo mais adequado ambientalmente. Além disso, como fonte de energia na produção de biogás, além de produzir o digestato, ou seja, matéria orgânica

estabilizada pelo processo de digestão anaeróbia, é passível de ser usado para correção de solos, caso em conformidade com resoluções e normas técnicas correlatas.

De maneira geral, as condições brasileiras, segundo Barreira (2011), favorecem o aproveitamento dos dejetos animais em uma propriedade rural, seja na produção de biogás e como biofertilizante. Para isso, faz-se necessário estudar e observar aspectos que contribuam com a operacionalidade dos biodigestores.

Nesse sentido, o presente trabalho objetiva a realizar estudos de mapeamento de potencial energético e viabilidade econômica de empreendimentos de Usinas Termelétricas (UTE) a partir de biogás da codigestão anaeróbia de dejetos de bovinos: suínos, utilizando de dados oriundos da literatura, sobre a melhor proporção de dejetos de bovinos: suínos em relação à geração quantitativa de biogás. Esse estudo foi realizado sob as premissas das Resoluções ANEEL N°. 482/2012 e N°. 687/2015 (BRASIL, 2012; 2015) da micro e mini geração distribuída. Finalmente, foi realizado um estudo sobre as emissões evitadas de Gases de Efeito Estufa (GEE) ocasionadas pela combustão do CH₄ no processo de aproveitamento energético

1.1 Justificativa

Diante da necessidade de abranger alternativas a fontes de energia não renováveis e poluidoras, como os combustíveis fósseis, e mitigar a poluição ambiental pelo despejo inadequado de dejetos animais oriundos da produção agropecuária de confinamento nos efluentes, justifica-se, o estudo, a pesquisa e o desenvolvimento de projetos de construção de biodigestores como complemento ao saneamento para a zona rural e potencial energético do biogás. Embora o aproveitamento do biogás proveniente dos biodigestores, assim como todo empreendimento, dependa dentre outros fatores da viabilidade econômica, vale frisar outros benefícios de seu uso, convertendo um passivo ambiental em ativo econômico, otimizando sua cadeia produtiva e possibilitando a geração de empregos na zona rural e consequente geração de renda.

Nesse enquadramento, nota-se a importância da contribuição deste estudo, a fim de delimitar caminhos executáveis com foco na ampliação do conhecimento e benefício das atividades agropecuárias e preservação ambiental sobretudo, no contexto dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), quais sejam (ODSBRASIL, s.d.): Objetivo 6 - Água Potável e Saneamento; Objetivo 7 - Energia Limpa e Acessível; Objetivo 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; e Objetivo 12 - Consumo e Produção Responsáveis

1.2 Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo geral estimar a produção de biogás da codigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos utilizando dados de fundamentação teórica, avaliar a viabilidade econômica em face dos benefícios esperáveis da produção de biogás codigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos criados em confinamento. Também, objetiva produzir um mapeamento dos empreendimentos economicamente viáveis no Brasil no contexto da micro e minigeração distribuída da ANEEL das Resoluções ANEEL N°. 482/2012 e N°. 687/2015 (BRASIL, 2012; 2015) e finalmente, estimar as emissões líquidas evitadas de GEE.

1.3 Objetivos Específicos

Especificamente o desenvolvimento desta dissertação seguiu a lógica determinada por:

- ✓ Pesquisar o atual cenário técnico e econômico dos setores da bovinocultura e suinocultura no Brasil.
- ✓ Efetuar uma revisão bibliográfica sobre o uso da biomassa, os fundamentos da biodigestão anaeróbia, as possibilidades de uso do biogás e do biofertilizante.
- ✓ Calcular a quantidade de dejetos gerados diariamente por bovinos e suínos e a produção de biogás resultante da digestão anaeróbia da mistura de dejetos.
- ✓ Estimar a viabilidade econômica considerando potencial energético do biogás produzido a partir da codigestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos.
- ✓ Avaliar os resultados obtidos ponderando aspectos favoráveis e desfavoráveis da utilização do biogás na cadeia produtiva pecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O agronegócio no Brasil

O agronegócio abrange desde a matriz de processos produtivos, por exemplo produção agrícola e ou pecuária; industriais como a modificação ou processamento de produtos; de serviços, passando pela logística de armazenamento e transporte; até o investidor que possui especialidade em entender o mercado, seus instrumentos e riscos financeiros (BURANELLO, 2018).

No Brasil, nas décadas de 60 e 70, o desenvolvimento industrial e urbanização estimulou políticas e investimentos para aumentar a produção agrícola a fim de garantir o abastecimento e a redução dos preços de alimentos (CHADDAD, 2017).

Em 1965, foi institucionalizado o crédito rural pelo decreto da Lei nº 4.829 (BRASIL, 1965) com objetivos específicos:

- I. estimular o incremento ordenado dos investimentos rurais, inclusive para armazenamento beneficiamento e industrialização dos produtos agropecuários, quando efetuado por cooperativas ou pelo produtor na sua propriedade rural;
- II. favorecer o custeio oportuno e adequado da produção e a comercialização de produtos agropecuários;
- III. possibilitar o fortalecimento econômico dos produtores rurais, notadamente pequenos e médios; e
- IV. incentivar a introdução de métodos racionais de produção, visando ao aumento da produtividade e à melhoria do padrão de vida das populações rurais, e à adequada defesa do solo.

Em resumo, os objetivos do crédito rural é dar condições suficientes para o desenvolvimento do setor agropecuário, paralelamente a melhor condição de vida do produtor rural.

Após garantir a institucionalização do crédito rural aos produtores agropecuários, foi sancionada a Lei nº 8.171/1991 (BRASIL, 1991), em que o Estado assume o papel de planejamento, instrumentalizando a política agrícola.

Destaca-se, no presente trabalho, o que dispõe o Artigo 2º da lei supracitada, especificamente no item VI:

VI. o processo de desenvolvimento agrícola deve proporcionar ao homem do campo o acesso aos serviços essenciais: saúde, educação, segurança pública, transporte, eletrificação, comunicação, habitação, saneamento, lazer e outros benefícios sociais.

Ainda segundo a Lei nº 8.171 de janeiro de 1991 (BRASIL, 1991), Artigo 3º dados os objetivos da política agrícola, item IV:

IV. proteger o meio ambiente, garantir o seu uso racional e estimular a recuperação dos recursos naturais;

Mais recente, a Lei nº 13.986 de 07 de abril de 2020 (BRASIL, 2020), traduz medidas de segurança econômica para o produtor rural, como por exemplo o Fundo Garantidor Solidário (FGS), permitindo renegociação de dívidas e facilitando o crédito rural, o que por consequência beneficia o agronegócio brasileiro possibilitando maior abrangência de mercado. Também altera o disposto na Lei nº 8.929, de 22 de agosto de 1994 (BRASIL, 1994), no termo de Cédula de Produto Rural (CPR) representativa de promessa de entrega de produtos rurais. Vale ressaltar que a Lei nº 13.986 de 2020 não revoga leis anteriores de financiamento rural e sim expande as possibilidades e garantias ao produtor rural.

Costa (2018) reitera que todos produtores rurais brasileiros, a despeito de suas grandezas, quer seja empresário ou da agricultura familiar, devem ter acesso e condições para o desenvolvimento de suas atividades.

Baulcombe *et al.* (2009) afirmam que, se tratando de sustentabilidade do agronegócio, devem ser considerados aspectos como: produção em quantidade de alimentos, sua qualidade, o acesso a quem necessita, bem como considerar os impactos ambientais que as atividades agropecuárias podem causar.

Conforme explica Costa (2018), o agronegócio é valioso para humanidade e deve reger-se tanto a segurança alimentar quanto a conservação ambiental, de modo que resulte em equilíbrio e favoreça o desenvolvimento sustentável.

De acordo com Navarro e Campos (2013), a expansão agrícola brasileira avista dois lados distintos. Os grandes produtores são tipificados por elevada produtividade, crescimento significativo e importante contribuição para o desempenho econômico do país. Por outro lado, a agricultura familiar, que sofre dificuldades de competitividade de mercado.

Earp *et al.* (2014) acentuam o dinamismo do agronegócio dentre os setores econômicos brasileiros. Os autores mencionam ainda, o considerado fortalecimento do setor nas últimas décadas principalmente, pelo desenvolvimento tecnológico da agropecuária.

Paz (2019) afirma que industrialização está progressivamente presente nas diferentes atividades relacionadas a pecuária que por sua vez, encontra-se cada vez mais associada a

transformações técnicas e aos recursos tecnológicos. Ainda segundo Paz (2019), define-se pecuária como a sistematização de criação de animais com objetivo comercial.

Segundo Barcellos (2020), o aumento da produtividade na pecuária resultará de mudanças nos sistemas de produção animal, a exemplo do aperfeiçoamento da alimentação e adoção de agrupamentos com maiores concentrações de animais por área, o que exige maiores cuidados com saneamento.

Um dos indicadores utilizados para avaliar a produtividade do setor agropecuário é a relação entre área plantada e a produção de grãos em determinado período. É estreita a correlação entre produção de grãos e os setores de bovinocultura e suinocultura, isto porque a variação dos preços de grãos é condicionante dos custos em ração animal.

Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018) de meados da década de 70 até o ano de 2017, a produção de grãos cresceu mais de seis vezes, conforme ilustrado na Figura 2.1, enquanto a área plantada apresentou um crescimento de cerca de 63%.

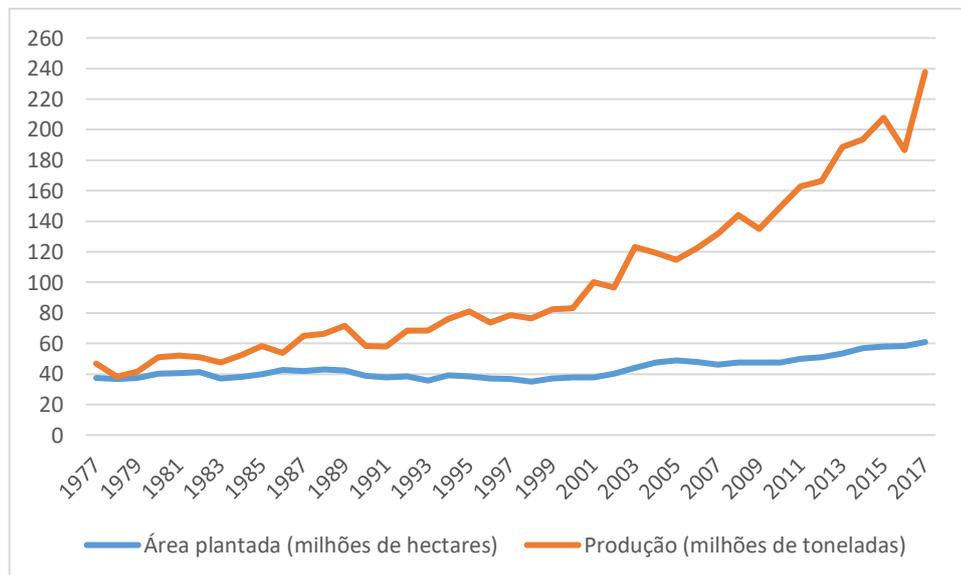


Figura 2.1 – Evolução da produtividade agrícola brasileira, 1977-2017.
Fonte: Adaptado de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018).

Outro indicador é o efetivo de rebanho dentro de uma série histórica. De acordo com IBGE (2019), o efetivo dos rebanhos de bovinos e suínos, apresentou alterações significativas entre os anos 2016 e 2019, influenciado pelo mercado externo, principalmente pela China (GANDRA, 2020).

Barros *et al.* (2019) afirmam que, no Brasil, a maior parte da produção de grãos, carne e leite são para exportação, considerando o balanço de nutrientes, pode-se afirmar que parte destes também são exportados causando desequilíbrio.

Uma forma de compensar o desequilíbrio na balança dos nutrientes é realizar a coleta e o tratamento adequado dos dejetos dos animais da produção agropecuária dando origem ao digestato, que ao ser utilizado nas lavouras de grãos, reinsere parte dos nutrientes na cadeia de produção (BARROS *et al.* 2019).

2.1.1 Bovinocultura

De acordo com dados do IBGE (2019), do rebanho bovino, houve aumento em número de animais nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, enquanto as regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste tiveram redução na quantidade de animais. No acumulado nacional, houve redução de aproximadamente 3 milhões de cabeças conforme ilustrado na Figura 2.2.

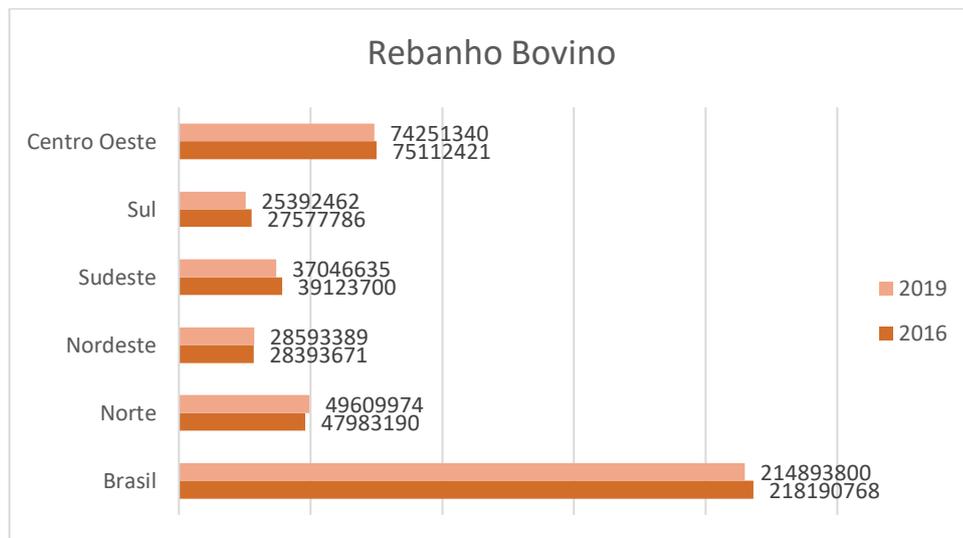


Figura 2.2 – Efetivo de rebanho bovino no Brasil, 2016 e 2019.

Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM. (2019)

No 3º trimestre de 2020 estima-se que tenham sido abatidas 7,58 milhões de cabeças de bovinos levando em consideração apenas instalações cuja produção passa por inspeção sanitária. Os dados decorrem de retração de 8,0% em relação ao 3º trimestre de 2019 (IBGE, 2020), interferência em parte pelo cenário desfavorável devido a pandemia de Covid-19.

Segundo Kiggundu *et al.* (2019), o manejo dos dejetos bovinos dos sistemas de pecuária difere quanto a forma do esterco (sólido ou líquido) e as quantidades produzidas, entre outros fatores. O sistema de produção de carne bovina brasileiro basicamente subsiste dois métodos distintos: o tradicional extensivo e o intensificado.

De acordo com Barbosa *et al.* (2015), no modelo extensivo, predomina a alimentação por pastagens suplementada por sal comum ou mineral, não há medidas de melhoramento das pastagens, muitas vezes utilizadas em estado de degradação. Neste caso, o manejo dos dejetos é comprometido pela dificuldade em realizar a coleta em áreas de pastagem.

Já no padrão intensivo, é constante a preocupação em melhoria de pastagens por meio da aplicação de fertilizantes e irrigação e há rotatividade dos animais para recuperação da pastagem. Também, no sistema intensivo de criação de gado de corte, há suplementação nutricional estratégica (BARBOSA, *et al.* 2015).

Conforme explica Fortaleza (2015), o uso de aditivos no trato de ruminantes tem por objetivo primário conservar, intensificar ou modificar as propriedades dos alimentos sem que para isso interfira no valor nutritivo.

Barcellos (2020) prevê que o desenvolvimento do setor de carne bovina trará mudanças principalmente em tecnologia e produtividade, mais carne será produzida em menores áreas, haverá avanços genéticos e maior capacitação dos profissionais do setor.

Segundo Florião (2013), as propriedades de produção leiteira, devem elaborar conjunto de operações de manejo adequado dos animais, bem como garantir condições sanitárias das instalações observando critérios como localização, orientação e distribuição das instalações.

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR, 2018), a área de confinamento de bovinos deve seguir recomendações sanitárias e contar com estruturas que tem por finalidade otimizar a produtividade.

Campos *et al.* (2012) mencionam que o manejo dos dejetos pode ocorrer por diferentes maneiras de modo a adequar à melhor situação em cada caso, por isso é importante realizar estudos prévios afim de estabelecer o melhor projeto. No geral, os principais tipos de manejo dos dejetos são (CAMPOS *et al.*, 2012):

- Convencional ou manejo de esterco na forma sólida: é feita a raspagem manual ou mecânica e os dejetos são amontoados para o transporte e disposto em locais cobertos, esterqueiras, compostagem ou ainda distribuído diretamente em áreas de culturas agrícolas.
- Manejo de esterco líquido: inicialmente é realizada a diluição em proporção adequada, depois o efluente é direcionado por tubulações até tanques de coleta, tratamento e homogeneização.
- Manejo de esterco semissólido ou misto: este sistema de manejo caracteriza-se pela quantidade de água ser suficiente apenas para limpeza das instalações. Para posterior distribuição, será necessário um trator ou caminhão-tanque.
- Manejo em lagoas de estabilização (aeradas, aeróbias, anaeróbias e facultativas): neste sistema, os dejetos diluídos são conduzidos para uma lagoa artificial onde

microrganismos anaeróbios farão a estabilização da matéria orgânica, posteriormente os resíduos podem ser lançados numa cultura agrícola por meio de aspersão.

- Compostagem: por meio de ação de bactérias aeróbias, a compostagem dos dejetos resulta em composto orgânico ou húmus, rico em gás carbônico e nitrogênio.
- Combinações dos sistemas descritos.

Cada um desses sistemas é dividido em cinco fases principais, além da utilização final, ilustradas na Figura 2.3:

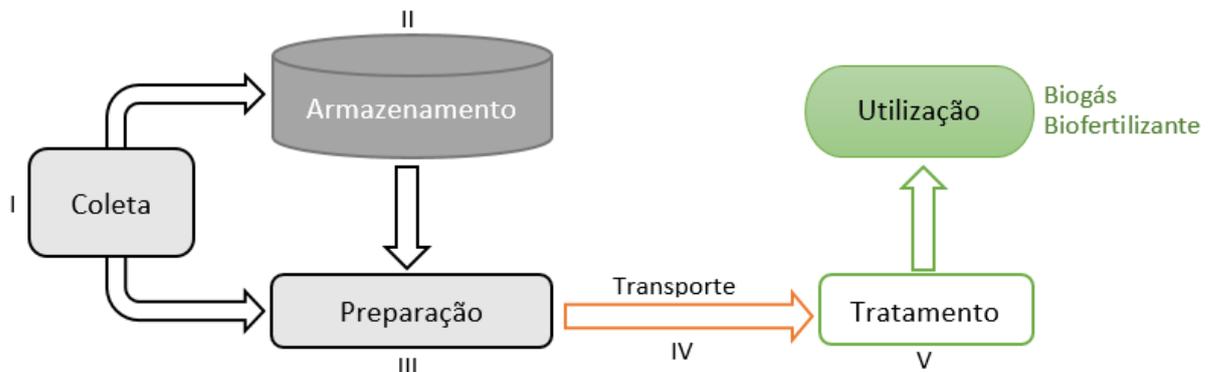


Figura 2.3 – Fluxograma das principais fases dos sistemas de manejo de dejetos.

Fonte: Próprio autor (2021)

Quando o resíduo sólido orgânico não é estabilizado pela ação de microrganismos em plantas de tratamento, ou seja, os dejetos dispostos *in natura* no meio ambiente, ocorre a diminuição da quantidade de nutrientes que serão devolvidos ao solo (CAMPOS *et al.* 2012).

2.1.2 Suinocultura

Tzanidaki *et al.* (2021) afirmam que o número de produtores de suínos tende a diminuir em todo o mundo, enquanto que as empresas maiores crescerão acompanhando a evolução dos processos de gestão da produção e também, de resolução de problemas ambientais como a geração de resíduos e dejetos.

Navarro e Campos (2013) corroboram que a suinocultura tem caracterizado pela intensa e recente adoção de tecnologias, também pela atuação em rede de produção o que por consequência trará mudanças sociais e econômicas nas regiões rurais.

A suinocultura se destaca como uma das principais atividades geradoras de renda no setor agropecuário brasileiro (BARROS *et al.* 2019). Considerando dados divulgados pelo IBGE (2019), o rebanho de suínos demonstra situação otimista. As regiões Centro Oeste, Sudeste, Nordeste e Norte registraram aumento significativo, enquanto que a região Sul ficou

praticamente estável. O acumulado nacional houve aumento de pouco mais de 500 mil cabeças de suínos, o que ilustra a Figura 2.4.

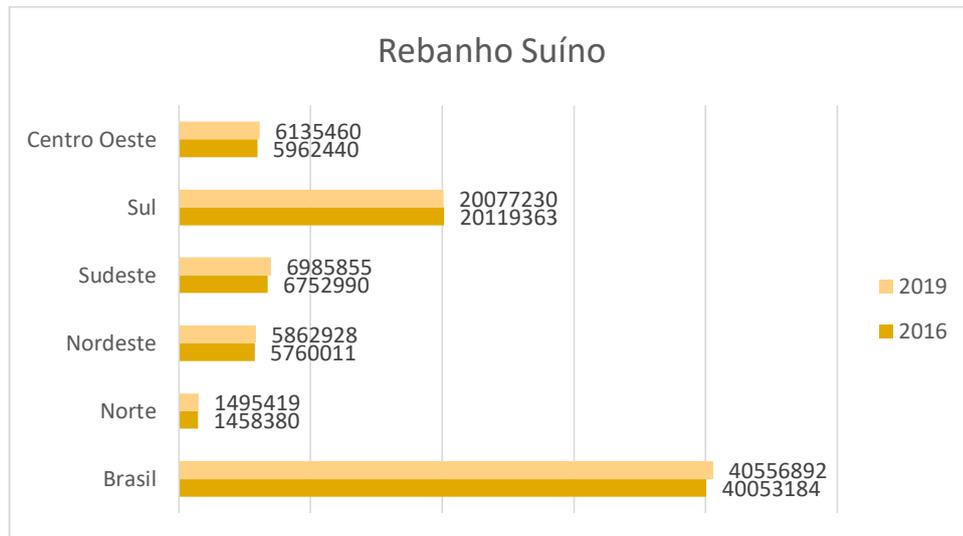


Figura 2.4 – Efetivo de rebanho suíno no Brasil, 2016 e 2019.

Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM. (2019)

A estimativa da quantidade de suínos abatidos no 3º trimestre de 2020, acumulou 12,57 milhões de cabeças, uma alta de 7,0% com relação ao mesmo período de 2019, IBGE (2020).

Para fazer o manejo adequado dos dejetos de suínos, inicialmente deve-se conhecer os sistemas de criação. De acordo com Roloff (2020), a suinocultura abrange o sistema de criação extensivo em que os animais são criados sem nenhum tipo de instalação, ou seja, livres, e o sistema de criação intensivo, que pode ser subdividido em sistema intensivo ao ar livre, sistema de criação misto ou semi-confinado, e o sistema confinado.

As principais características do sistema de suinocultura extensiva de acordo com Roloff (2020) é a baixa produtividade e a produção de carne e gordura em geral, para atender às necessidades dos proprietários. A coleta de dejetos bem como o aproveitamento de biogás, neste caso, é impraticável.

Roloff (2020) explica que o sistema intensivo de suínos criados ao ar livre é uma alternativa de baixo custo e poucas edificações dedicadas às fases de reprodução, maternidade e creche. A limitação das edificações mesmo em algumas etapas de produção, resulta em baixa quantidade de dejetos disponíveis para coleta.

Na criação de suínos no sistema misto ou semi-confinado faz-se a utilização de piquetes para algumas fases do crescimento em que os animais recebem alimentação a vontade. Num determinado momento, os animais são colocados em confinamento e recebem alimentação controlada a fim de determinar a produção da carcaça (ROLOFF, 2020). O manejo dos dejetos

consequentemente, será adequado às fases de confinamento; no entanto, deve-se observar as condições das instalações a fim de ter um melhor aproveitamento.

O sistema de confinamento de suínos é o mais adequado ao manejo de dejetos. A Figura 2.5 é um exemplo de sistema confinado de suínos, com ficha de identificação, controle de vacinação e alimentação, adoção de baias, estrutura de canaletas para limpeza dos dejetos e destinação dos efluentes a reservatórios que posteriormente serão encaminhados a plantas de tratamento.



Figura 2.5 – Sistema de criação de suínos em confinamento.
Fonte: Website Vaccinar: Nutrição e Saúde Animal (2020)

A conformação adequada de um sistema confinado da produção de suínos faz-se necessário prevenir doenças realizando manejo das instalações, estabelecer vazio sanitário entre lotes sobretudo, entre os períodos maternal, creche e terminação (EMBRAPA, 2003). O Quadro 2.1 sugere intervalos entre lotes para cada etapa de produção de suínos.

Quadro 2.1 – Planejamento de Produção de Suínos: Intervalo entre lotes.

Etapa	Intervalo
Idade ao desmame	21 ou 28 dias
Idade de saída dos leitões da creche	63 a 70 dias
Idade de venda dos suínos	Definida em função das características do mercado que se pretende atender
Intervalo desmama/cio	7 dias
Duração da gestação	114 dias
Duração do vazio sanitário entre cada lote	7 dias ⁽¹⁾

⁽¹⁾ para esse período, recomenda-se 7 dias (1 dia para lavagem + 1 dia para desinfecção + 5 dias de descanso).

Fonte: Adaptado de EMBRAPA. (2003)

2.2 Distribuição dos rebanhos bovinos e suínos no Brasil

Ao estudar a codigestão de dejetos bovinos e suínos um dos objetivos é estabelecer critérios para instalação de plantas de produção de biogás onde já se encontram produtores agropecuários facilitando etapas do processo e diminuindo despesas, como por exemplo, o transporte de dejetos.

De acordo com dados do IBGE (2017), a distribuição do rebanho bovino, considerando a quantidade de animais por agrupamentos nos estabelecimentos (Tabela 2.1) demonstra que existem muitos pequenos produtores de bovinos no Brasil.

Tabela 2.1 – Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos (Unidades)

Grupo de cabeças de bovinos	Número de estabelecimentos
De 11 a 20	339.194
De 21 a 50	452.847
De 51 a 100	216.371
De 101 a 200	118.644
De 201 a 500	77.289
De 501 a 1000	26.837
De 1001 e mais	19.402

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Agropecuário 2017, tabela 6910. (2017)

Somados os agrupamentos com até 50 cabeças de bovinos resulta em cerca de 792.041 mil pequenos estabelecimentos. A Figura 2.6 ilustra a distribuição dos estabelecimentos produtores de bovinos no Brasil.

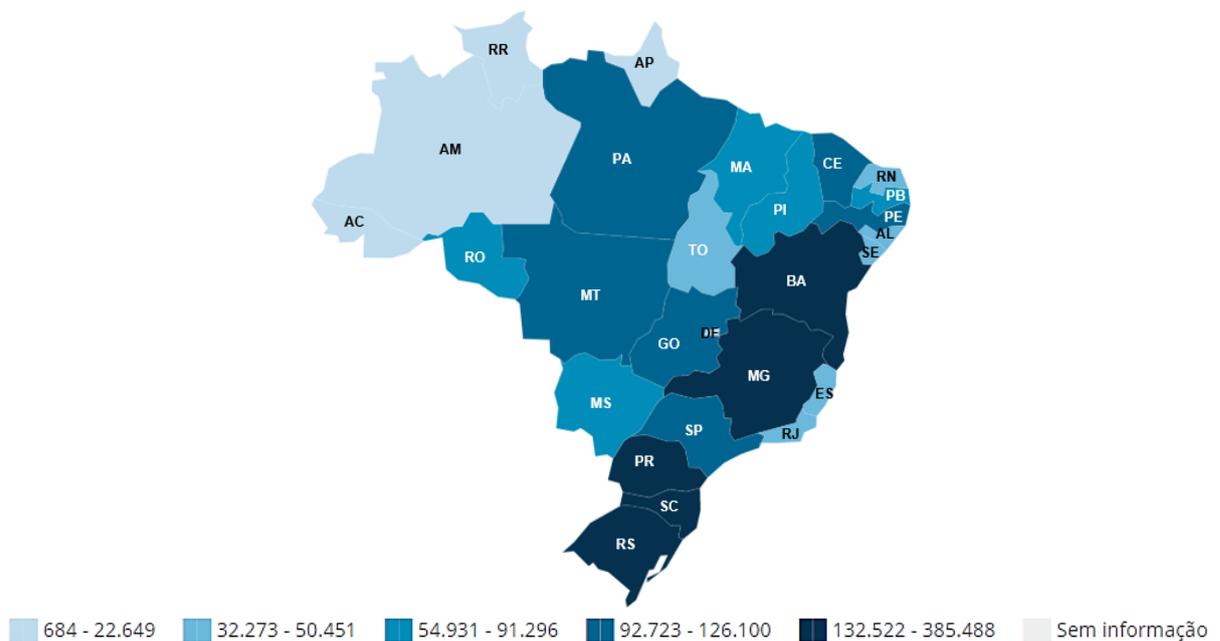


Figura 2.6 – Cartograma - Bovinos do Brasil por Número de estabelecimentos.

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário, IBGE. (2017)

Percebe-se que a Região Sul do Brasil bem como os estados de Minas Gerais e Bahia possuem as maiores concentrações em número de estabelecimentos.

A Tabela 2.2 ilustra os dados divulgados pelo IBGE (2017) de acordo com a quantidade de bovinos no Brasil por agrupamentos em número de cabeças.

Tabela 2.2 – Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças)

Grupo de cabeças de bovinos	Número de cabeças de bovinos
De 11 a 20	5.395.642
De 21 a 50	15.644.983
De 51 a 100	16.014.994
De 101 a 200	17.566.130
De 201 a 500	25.148.536
De 501 a 1000	19.389.433
De 1001 e mais	49.844.992

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Agropecuário 2017, tabela 6910. (2017)

É possível constatar dos resultados divulgados que as maiores parcelas do rebanho de bovinos no Brasil estão em grandes propriedades considerando aquelas com mais de 1.000 cabeças de gado.

O cartograma da Figura 2.7 aponta a distribuição do rebanho bovino efetivo no Brasil por estado.

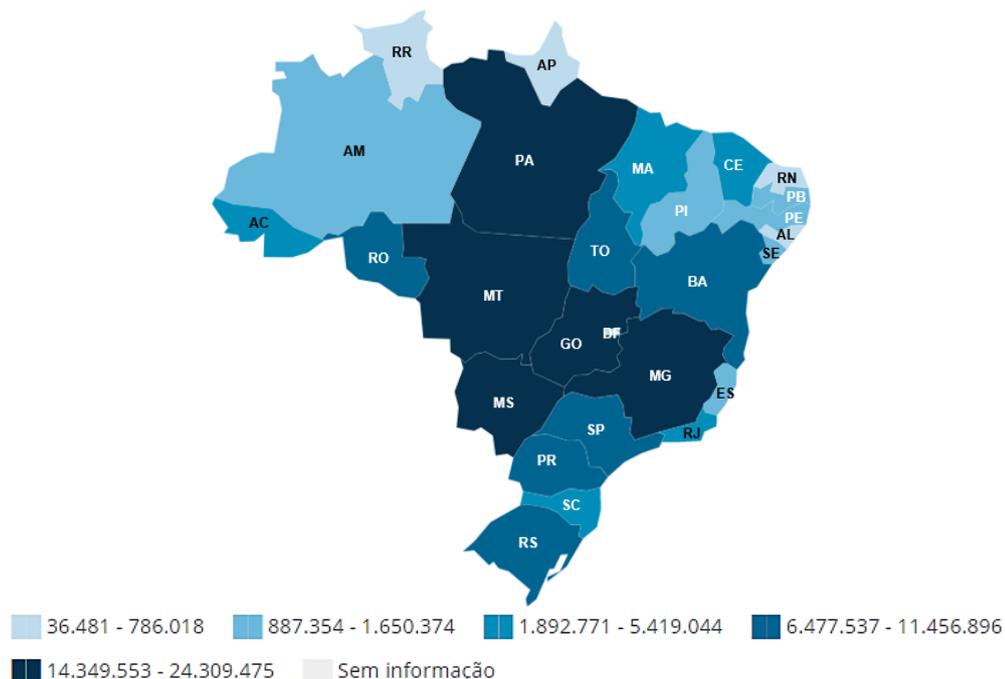


Figura 2.7 – Cartograma - Bovinos do Brasil por Efetivo de Rebanho.

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário, IBGE. (2017)

Destacam-se a Região Centro Oeste, e os estados de Minas Gerais e Pará com os maiores índices de concentrações de bovinos por efetivo de rebanho.

Dados do IBGE (2017) demonstram a distribuição dos rebanhos de suínos no Brasil segundo a quantidade de animais por agrupamentos nos estabelecimentos, ilustrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Número de estabelecimentos agropecuários com suínos (Unidades)

Grupo de cabeças de suínos	Número de estabelecimentos
De 1 a 5	863.495
De 6 a 10	308.220
De 11 a 20	178.337
De 21 a 50	66.927
De 51 a 100	8.790
De 101 a 200	2.649
De 201 a 500	5.648
De 501 e mais	11.835

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Agropecuário 2017, tabela 6926. (2017)

Evidencia-se que ainda há muitos pequenos e médios produtores de suínos no Brasil. Considerando agrupamentos com até 10 cabeças existem cerca de 1.171.715 milhão de pequenos estabelecimentos. Em resumo, o cartograma da Figura 2.8 ilustra os estados da federação com maior número de estabelecimentos, segundo dados divulgados pelo IBGE (2017).

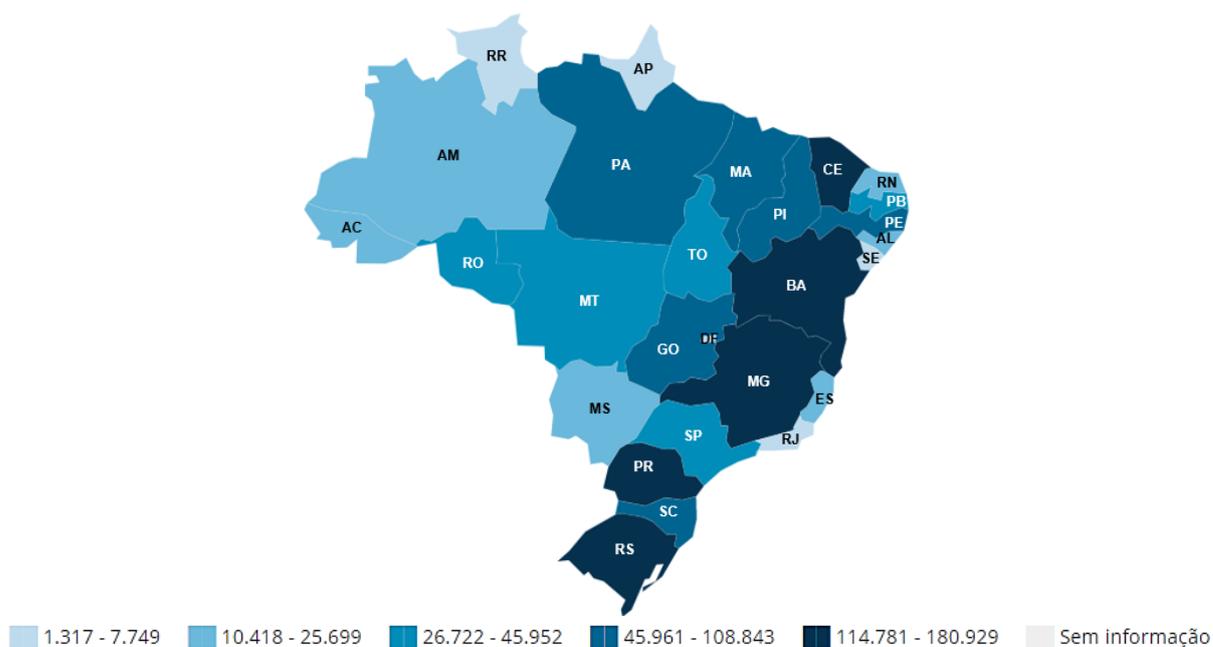


Figura 2.8 – Cartograma - Suínos do Brasil por Número de estabelecimentos.

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário, IBGE. (2017)

Destacam-se os estados da Região Sul do Brasil, assim como Minas Gerais, Bahia e Ceará com os maiores índices de número de estabelecimentos produtores de suínos.

A Tabela 2.4 divulgada pelo IBGE (2017) demonstra a quantidade de suínos no Brasil por agrupamentos em número de cabeças.

Tabela 2.4 – Número de cabeças de suínos nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças)

Grupo de cabeças de suínos	Número de cabeças de suínos
De 1 a 5	2.238.283
De 6 a 10	2.444.633
De 11 a 20	2.703.409
De 21 a 50	2.131.465
De 51 a 100	647.154
De 101 a 200	406.393
De 201 a 500	2.161.241
De 501 e mais	26.613.614

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Agropecuário 2017, tabela 6926. (2017)

O resultado divulgado permite identificar a maior parcela do rebanho distribuído em grandes propriedades com mais de 500 animais.

O cartograma da Figura 2.9 demonstra a distribuição dos suínos no Brasil por efetivo de rebanho dentre os estados.

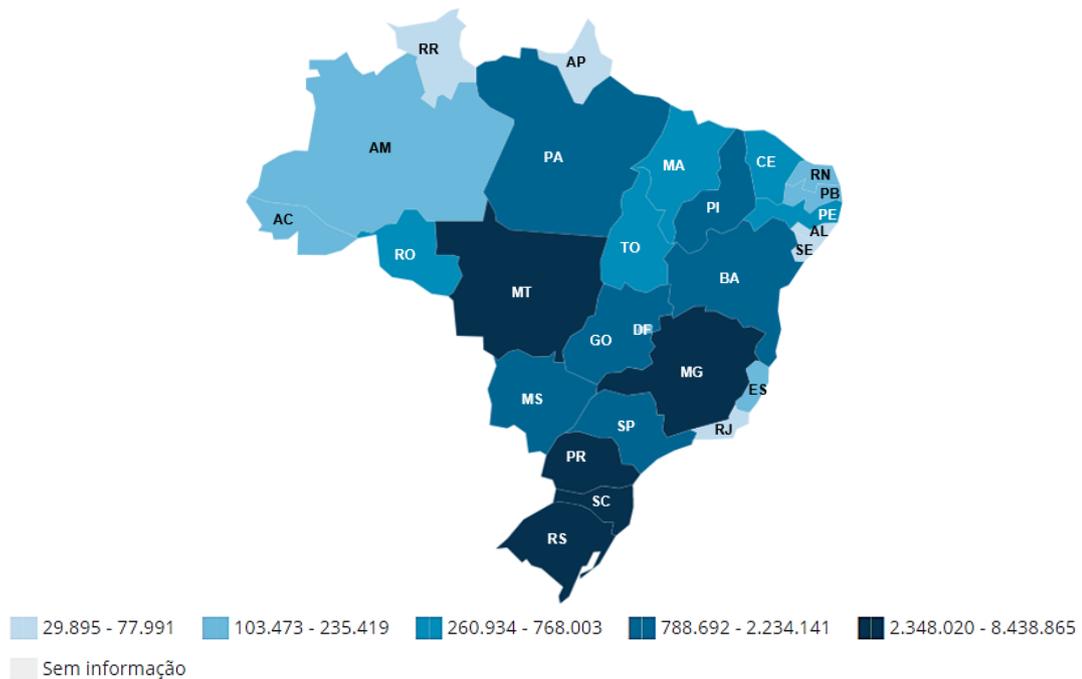


Figura 2.9 – Cartograma - Suínos do Brasil por Efetivo de Rebanho.

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário, IBGE. (2017)

Destacam-se, pela Figura 2.9, as regiões de Mato Grosso, Minas Gerais e a Região Sul do Brasil com os maiores índices de concentrações de suínos por efetivo de rebanho.

2.3 Aspectos ambientais da produção de dejetos

Do ponto de vista ambiental, os produtores de bovinos e suínos, assim como demais produtores agropecuários, deparam-se com o problema da destinação adequada dos dejetos dos animais. A concentração desses dejetos pode causar a poluição e contaminação do solo, do ar atmosférico e dos corpos d'água. Também atraem maior quantidade de insetos vetores de doenças que podem prejudicar a saúde do ser humano e dos animais confinados.

Ainda hoje uma solução comum utilizada por produtores rurais são as chamadas esterqueiras. Kunz et. al. (2004) explicam que as esterqueiras são sistemas de depósito cujo objetivo é armazenar os dejetos por tempo suficiente até que estes passem por pequena estabilização e desta forma, mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente. O uso dessa estrutura é limitado a produtores que possuam área suficiente, ou que possam utilizar áreas de terceiros. Geralmente, é desprovido de cuidados mínimos para o bom funcionamento, por se tratar de um passivo ambiental. Desta forma, é comum causar a poluição do solo e consequente poluição da água por infiltração ou por carreamento. Além disso, o mal cheiro devido ao acúmulo de dejetos é um problema comum as localizações no entorno das esterqueiras.

A poluição dos solos causada pela má administração do uso de dejetos animais como fertilizantes em lavouras está relacionada ao tipo de dejetos, a quantidade e o número de aplicações em uma mesma área, e também o tipo de solo. Essa prática leva a saturação de fósforo no solo e consequente processo de erosão e lixiviação (SEGANFREDO, 2001).

A disposição final dos efluentes oriundos de atividades agropecuárias deve atender às condições mínimas de padrões de lançamento. Na ausência de legislação específica no caso do tratamento de efluentes da pecuária, deve-se atender o que estabelece a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA nº 430 de 2011 (CONAMA, 2011):

I - Condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Outro fator importante que deve ser considerado quanto aos aspectos ambientais do setor agropecuário, são as emissões de GEE, que contribuem para o aquecimento global. De acordo com *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) a métrica utilizada para ponderar o potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential – GWP*) dos GEE utiliza unidade de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), conforme Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – GEE e valor correspondente para potencial de aquecimento global

Gás	Símbolo	GWP-100 AR5 (2014)¹
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nítrico	N ₂ O	265
Hidrofluorocarbonos	HFC – 23	12.400
	HFC –125	3.170
	HFC –134a	1.300
	HFC –143a	4.800
	HFC –152a	138
Perfluorcarbonos	CF ₄	6.630
	C ₂ F ₆	11.100
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	23.500

¹ IPCC's Fifth Assessment Report (AR5), Quinto Relatório de Avaliação do IPCC.

Fonte: Extraído e adaptado de IPCC (2014).

Segundo relatório divulgado pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2020), no Brasil, as emissões de GEE causadas por mudanças no uso da terra, principalmente pelo desmatamento, cresceram cerca de 23% em 2019, comparado ao ano de 2018. O setor da agropecuária registrou um aumento de pouco mais de 1% no mesmo período, resultando em 598,7 milhões de toneladas de CO₂eq. O setor de energia registrou aumento aproximado de 1,1% relacionado ao aumento de consumo de energia elétrica que levou ao acionamento de termoeletricas. Os processos industriais registraram diminuição

das emissões no ano de 2019 comparado a 2018, foram cerca de 2 milhões de tCO₂eq. Por fim, o setor de resíduos teve um aumento de 1,3% das emissões. Resumidamente, os dados estão ilustrados no o gráfico da Figura 2.10.

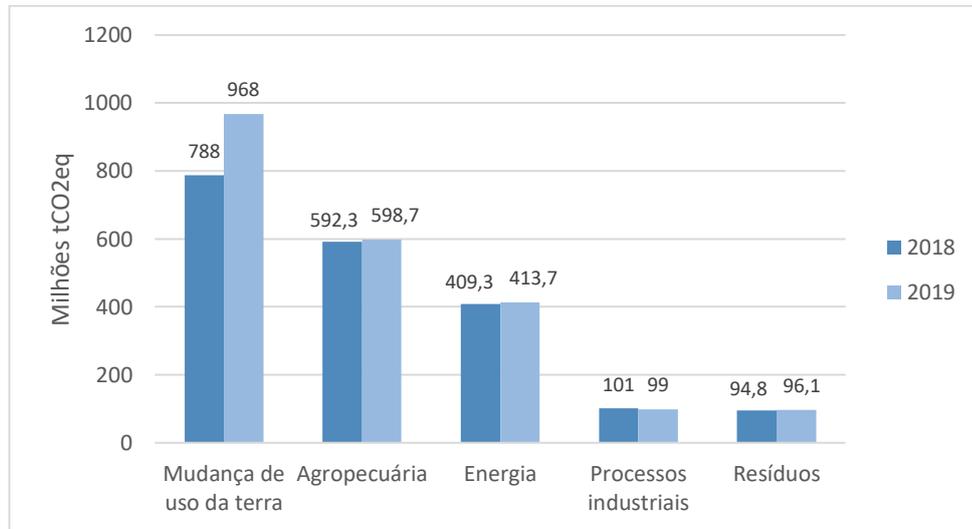


Figura 2.10 – Emissões de GEE por setor no Brasil em 2018 e 2019.
Fonte: Adaptado de SEEG (2020).

Em 2019, o setor da agropecuária foi responsável por 28% do total das emissões de GEE no Brasil conforme (SEEG, 2020). De acordo com Sapkota *et al.* (2021), a tendência de aumento das emissões de GEE da agropecuária para atender a demanda por alimentos reforça a importância de empreendimentos de saneamento e de aproveitamento energético do setor para diminuir o impacto dessas emissões.

Os impactos das mudanças climáticas na produção agropecuária são motivações de inúmeros estudos ao redor do mundo que tem por objetivo mitigar os impactos adversos na produtividade do setor e auxiliar políticas públicas de desenvolvimento (KABUBO-MARIARA, 2008).

2.4 Biomassa

Burattini (2008) enumera diversos tipos de energia presente no meio ambiente, dentre eles destaca-se o Sol que irradia luz e calor; o vento que é resultado da circulação das massas de ar; das quedas d'água pela transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética; marés, ondas e correntes marítimas; a energia térmica do interior da Terra, geotérmica em vulcões e gêiseres; e a biomassa que trata da energia armazenada nas moléculas orgânicas presente tanto em seres vivos quanto nos fósseis.

Segundo a Diretiva Europeia (2009), a biomassa é a fração biodegradável de resíduos agropecuários vegetais e animais, do manejo florestal e de resíduos industriais e domésticos. Campo *et al.* (2008), explicam que a produção de energia térmica utilizando materiais biológicos não fósseis é considerada energia de biomassa.

Barreira (2011) explica que a biomassa é fonte de energia abundante e renovável. O autor estima que a produção anual de biomassa no mundo, em 2011, foi cerca de 75 bilhões de toneladas.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), a biomassa reservada ao aproveitamento energético provinda de matéria orgânica animal ou vegetal é considerada fonte primária de energia.

Segundo dados extraídos do Balanço Energético Nacional realizado pela EPE (2020a), a oferta interna de energia elétrica por biomassa no Brasil corresponde a 8,4%, dos quais mais de 70% corresponde ao bagaço de cana e apenas cerca de 2% ao biogás (Figura 2.11).

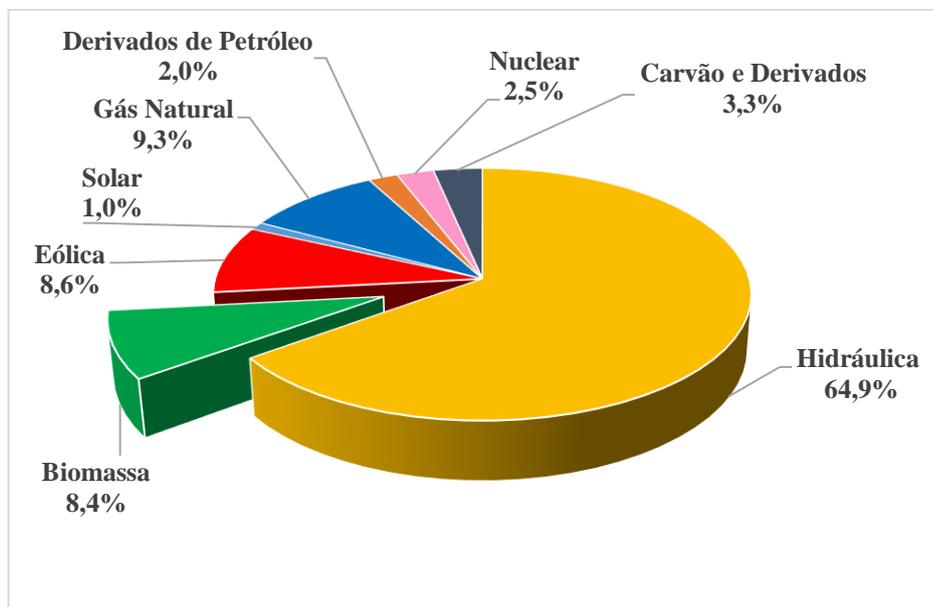


Figura 2.11 – Oferta Interna de Energia por Fonte.

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (Brasil) (2020)

São diversos estudos de diferentes tipos de substrato da biomassa com potencial de produção de biocombustível. Santos *et al.* (2018) afirmam que o Brasil tem um grande potencial devido à grande quantidade e variedade de resíduos orgânicos produzidos.

A classificação de biomassa, divide-se nas seguintes categorias: biomassa florestal, seus produtos, subprodutos e resíduos; biomassa da agropecuária de culturas agroenergéticas, e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos.

Lora e Andrade (2009) explicam que os principais processos de conversão de energia são: processos físicos (compressão), termoquímicos (combustão, pirólise e gaseificação) e biológicos (fermentação alcoólica e digestão) conforme ilustra a Figura 2.12.

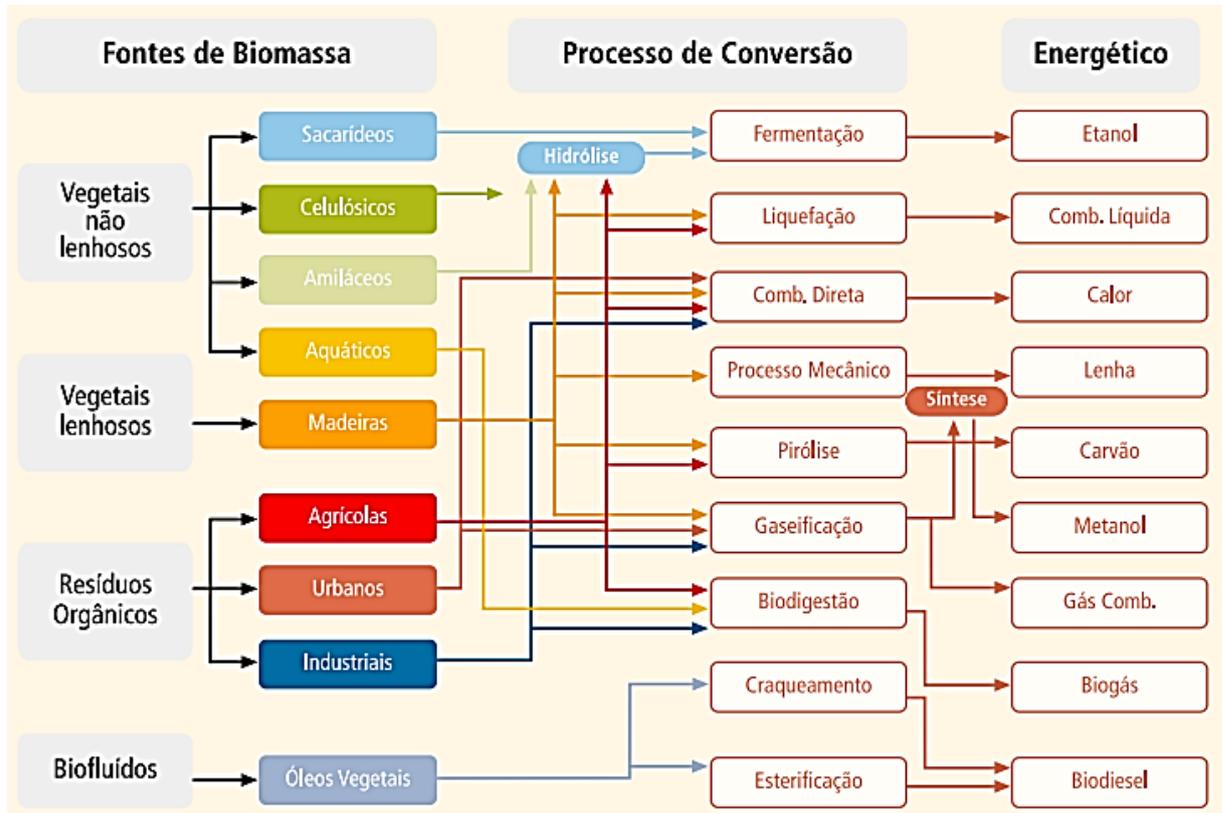


Figura 2.12 – Fluxograma dos processos de conversão de energia da biomassa.
Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, (1982). Adaptado por ANEEL (2003)

Sadhukhan *et al.* (2019) afirmam que biocombustíveis resultantes de processos de conversão da biomassa, como o etanol, tem potencial para garantir a segurança energética de países em desenvolvimento.

De acordo com Choi *et al.* (2018), as transformações termoquímicas, como pirólise e gaseificação, de esterco têm potencial de aplicação em tecnologias de processamento de biocombustíveis.

Segundo Dahunsi (2019), a queima de biomassa contribui significativamente com o aquecimento global e as mudanças climáticas, portanto a conversão em biocombustíveis resulta em vários benefícios ambientais e econômicos.

O Brasil tem alto potencial de biogás para fins energéticos a partir de resíduos agrícolas, como resíduos animais, e, em conjunto com os benefícios ambientais da destinação adequada dos dejetos da produção bovina e suína, apontam para necessidade de estudos de viabilidade técnica e econômica de novos empreendimentos de plantas de biogás.

2.4.1 Fundamentos da digestão anaeróbia

De maneira simplificada, a digestão da matéria orgânica é um conjunto de transformações físicas e químicas que proporcionam a quebra de macromoléculas orgânicas complexas, como por exemplo: proteínas, carboidratos, lipídeos; em um produto mais simples.

Sanchez *et al.* (2005) explicam que a digestão anaeróbia ocorre pela ação de microrganismos, bactérias e arqueas, na ausência de oxigênio, em materiais orgânicos, num processo que resulta compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2).

Kunz *et al.* (2019) definem a digestão anaeróbia como um processo metabólico complexo que ocorre em condições anaeróbias pela associação de microrganismos distintos que atuam basicamente em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Na etapa da hidrólise, compostos de macromoléculas de carbono como por exemplo proteínas, carboidratos e lipídeos, são quebrados por bactérias hidrolíticas resultando em monômeros, que são substâncias orgânicas mais simples e solúveis, como por exemplo açúcares, aminoácidos e ácidos graxos.

Em seguida, esses monômeros resultantes da hidrólise são degradados por outros tipos de bactérias em uma fase denominada acidogênese. O resultado da degradação nos monômeros são ácidos orgânicos de cadeia curta, como por exemplo os ácidos acéticos.

A terceira etapa do processo de digestão anaeróbia é realizada por microrganismos acetogênicos. Esta fase é considerada crítica ao processo porque as reações acetogênicas são endotérmicas, ou seja, ocorrem com a absorção de energia na forma de calor. Resultam dessa etapa, ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono, como por exemplo, o ácido fórmico e o ácido acético.

Ao final de todo o processo, ocorre a quarta fase denominada metanogênese em condições estritamente anaeróbias. Os principais compostos da metanogênese são dióxido de carbono e metano, pela ação de arqueas metanogênicas. As reações nessa fase são exotérmicas. As arqueas metanogênicas acetotróficas convertem acetato a metano e as arqueas metanogênicas hidrogenotróficas convertem hidrogênio e dióxido de carbono a metano e água.

Ainda há a sulfetogênese em que as bactérias redutoras de sulfato (BRS) utilizam o sulfato como acceptor final de elétrons e produzem o sulfeto de hidrogênio. As BRS são versáteis e utilizam uma ampla faixa de substratos, incluindo uma competição pelo acetato com os microrganismos metanogênicos.

O processo de digestão anaeróbia é exemplificado, em suas principais reações, no fluxograma da Figura 2.13.

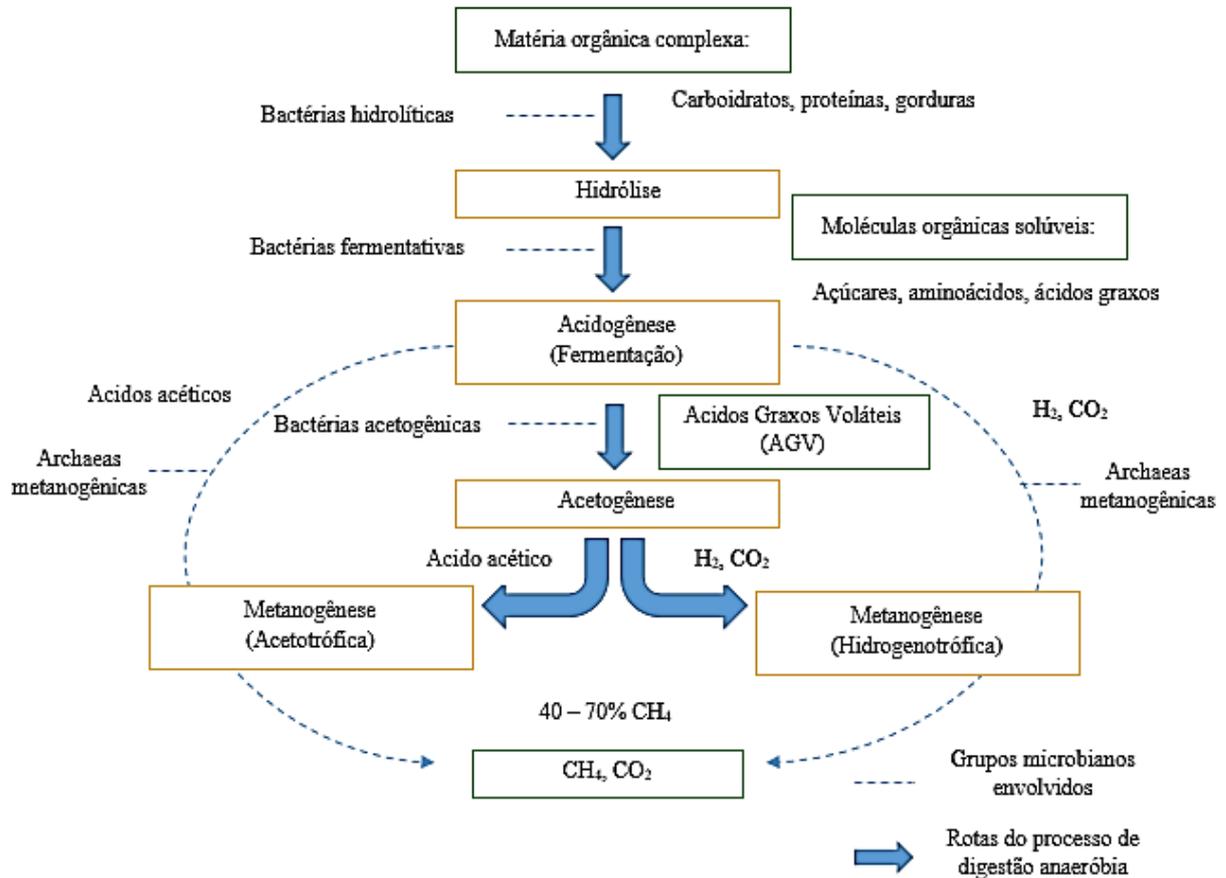


Figura 2.13 – Fluxograma do processo de digestão anaeróbia.

Fonte: Elaborado e adaptado de Li *et al.* (2011); CalRecycle (2008) *apud* Barros (2012).

Embrapa (2006) menciona que os microrganismos envolvidos no processo de biodigestão anaeróbia são sensíveis a alguns fatores, como por exemplo variações de temperatura. Wellinger *et al.* (2013 *apud* Kunz *et al.*, 2019) mencionam os principais fatores a serem observados para um ótimo processo de fermentação nas etapas de hidrólise, acidogênese e metanogênese, exposto na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Requisitos ambientais dos microrganismos durante processos da biodigestão anaeróbia.

Parâmetros	Hidrólise / Acidogênese	Metanogênese
Temperatura	25 – 35	32 – 42
pH	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
Relação C;N	10 – 45	20 – 30
Concentração de matéria orgânica seca (%)	< 40	< 30
Potencial Redox (mV)	+ 400 até -300	< -200
Relação de C:N:P:S necessária	500:15:5:3	600:15:5:3
Elementos traços	–	Essencial: Ni, Co, Mo, Se

Fonte: Extraído de Wellinger *et al.* (2013 *apud* Kunz *et al.*, 2019)

Molinuevo-Salces *et al.* (2016) realizaram estudos de tratamento de dejetos de suínos em diferentes composições de carboidratos e proteínas, também para diferentes temperaturas e observaram que influenciou os resultados de produção de biogás.

Piñas *et al.* (2019) corroboram que o tipo de substrato utilizado na biodigestão também influencia na eficiência da produção biogás. Amon *et al.* (2007) concluíram em seus estudos que o tipo de alimentação fornecida ao gado leiteiro resultou alterações na digestibilidade anaeróbia dos dejetos animais.

Jende *et al.* (2015) afirmam que o objetivo principal da codigestão é aumentar a capacidade de geração de biogás e consequente acréscimo de eficiência da planta de biogás. Gomes *et al.* (2016) afirmam que em casos de sazonalidade da disponibilidade de substratos, a codigestão pode propiciar a estabilidade de geração de biogás ao longo do ano.

A combinação de substratos como milho, silagem e esterco tem potencial para otimizar significativamente a produtividade do biogás (WANG 2010 *apud* PIÑAS *et al.* 2019). Wilawan *et al.* (2014) consideraram bem-sucedidos os resultados obtidos no estudo da codigestão anaeróbia em proporções de 1:1 de um tipo de grama conhecida como Pakchong 1 e dejetos de galinha.

Abdala (2019) realizou estudo experimental no qual combinou diferentes proporções de dejetos de bovinos e suínos a fim de obter o potencial energético de cada proporção. Os resultados mostraram que quanto maior a proporção de dejetos bovinos, maior a produção de biogás da codigestão.

Monou *et al.* (2009) avaliaram a eficiência de sistemas de tratamento de efluentes da pecuária em Chipre. No estudo de diferentes misturas de substrato, os autores concluíram que a mistura com melhor resultado foi a codigestão de dejetos bovinos e suínos com teor máximo de CH₄ de 61,6%.

2.4.2 Biogás

O biogás é uma combinação de gases resultante do processo de digestão anaeróbia, ou seja, na ausência de oxigênio. Santos *et al.* (2018) mencionam que seus compostos principais são metanos (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

Coelho *et al.* (2006a) mencionam que além do metano (CH₄), que é a fração combustível, o biogás constitui outras substâncias não combustíveis, como o dióxido de carbono (CO₂), ou contaminantes, como o gás sulfídrico (H₂S) que contribuem para a perda da eficiência e corrosão de motor de combustão interna (MCI).

O Quadro 2.2 apresenta a constituição média do biogás e suas respectivas proporções para diferentes estudos de digestão anaeróbia.

Quadro 2.2 – Constituição do biogás

Constituintes do biogás	~Magalhães (1986) <i>apud</i> Lucas Júnior <i>et al.</i> . (2009)	Hosseini e Wahid (2013)	Grima- Olmedo <i>et al.</i> (2014)	Castro e Silva <i>et al.</i> . (2021)
	%	%	%	%
Metano (CH ₄)	55 a 65	55 a 65	50 a 70	45 a 65
Dióxido de carbônico (CO ₂)	35 a 45	35 a 45	25 a 40	30 a 40
Gás sulfídrico (H ₂ S)	Não diferencia concentrações de demais gases.	0 a 1	Não diferencia concentrações de demais gases.	0,3 a 3
Hidróxido de amônia (NH ₃)		0 a 1		0 a 1
Água (H ₂ O)		–		0 a 10
Nitrogênio (N ₂)		0 a 3		0 a 5
Oxigênio (O ₂)		0 a 2		0 a 2
Hidrogênio (H ₂)		0 a 1		1

Fonte: Extraído e adaptado de Magalhães (1986) *apud* Lucas Júnior *et al.* (2009); Hosseini e Wahid (2013); Grima-Olmedo *et al.* (2014) Castro e Silva *et al.* (2021)

Magalhães (1986) *apud* Lucas Júnior *et al.* (2009), mencionam apenas concentrações de metano e dióxido de carbono para a biodigestão de dejetos de suínos como substrato. Hosseini e Wahid (2013), realizaram experimentos sobre a combustão do biogás em laboratório e consideraram concentrações médias dos constituintes do biogás.

Grima-Olmedo *et al.* (2014), compararam o desempenho energético do biogás de aterro, biogás de biodigestor e o gás de cozinha comum utilizado na Europa, em fogão adaptado para queima de gás natural, e estimaram as concentrações médias de metano e dióxido de carbono.

Castro e Silva *et al.* (2021) analisaram a digestão anaeróbia de dejetos de suínos com a adição de rejeitos de minério de ferro em escala de laboratório e consideraram concentrações médias dos constituintes do biogás.

Hosseini e Wahid (2013) afirmam que a remoção de substâncias como H₂S, H₂O, CO₂ e N₂, melhora a combustão do biogás. Outras alternativas, de acordo com Grima-Olmedo *et al.* (2014), é a mistura com outros combustíveis ou mesmo aumentar o teor de O₂ da mistura.

Para o acionamento de MCI, conforme explicam Lucas Júnior *et al.* (2009), são necessárias adaptações na planta de biodigestão para que o biogás seja tratado e purificado resultando no biometano que possui elevado teor de metano e pode ser utilizado como combustível veicular ou em equipamentos residenciais ou comerciais, conforme especifica o Artigo 2º da RESOLUÇÃO ANP Nº 8, DE 30 de janeiro de 2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015).

Kunz (2020), explica que para o aproveitamento de biogás como combustível veicular, deve contar com sistema de remoção de gás sulfídrico (H_2S) que é corrosivo e compromete os MCI, e remoção de umidade e gás carbônico (CO_2) que é um dos gases resultantes da biodigestão para, desta forma, aumentar a concentração de metano (CH_4) a índices maiores de 90%. Segundo Becher (2016), 1 litro de diesel equivale a 1 Nm^3 de metano nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) ou ainda, 5 litros de metano comprimido a 200 bar, pressão necessária para viabilidade numa maior gama de veículos.

Segundo afirmam Al Seadi *et al.* (2008) *apud* Silva *et al.* (2018), as aplicações do biogás tratado e purificado abrangem o aproveitamento energético, aquecimento, combustível, a cogeração de eletricidade e calor, inserção na rede de distribuição de gás, na indústria química, entre outras. De acordo com Silva *et al.* (2018), dentre as dificuldades em se realizar o aproveitamento energético do biogás, destaca-se a viabilidade econômica.

Por meio de levantamento realizado pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER, 2020) entre dezembro de 2019 e março de 2020, foi estimado que o Brasil possui 521 plantas de usinas de biogás em operação, com fins energéticos, classificadas quanto a origem do substrato como: agropecuária, industrial, de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), conforme indicam os dados da Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Classificação, por substrato, das plantas de biogás com fins energéticos em operação no Brasil

Origem do substrato	Quantidade de plantas		Volume de biogás (Nm^3/ano)	
Agropecuária	416	80%	165.112.571	12%
Industrial	62	12%	153.858.569	12%
RSU e ETE¹	43	8%	1.026.527.529	76%
Total	521	100%	1.345.498.670	100%

¹RSU: Resíduos Sólidos Urbanos; ETE: Estação de Tratamento de Esgoto.

Fonte: Extraído e adaptado de CIBIOGAS, BiogasMAP, 2020

Apesar do menor número, as usinas que utilizam como substrato RSU ou efluentes de ETE são de maior porte e produzem um volume maior de biogás comparado a usinas de substrato com origem agropecuária e industrial, que em geral são de pequeno e médio porte.

No Brasil, a suinocultura se destaca como principal concentração de plantas de biogás do setor agropecuário, em geral com sistemas de baixo custo e pouca sofisticação cuja potência elétrica instalada de até 150 kW_{el} (equivalente elétrico). Comparado a países europeus, usinas de metanização exclusivas de dejetos atingem até 10 MW_{el} usando como fonte de substrato milho na codigestão com dejetos com potência de até 20 MW_{el} (GOMES *et al.*, 2016).

2.5 Geração elétrica a partir do biogás

De acordo com Coelho (2006b), a conversão energética é definida por ações que transformam determinado tipo de energia em outro. Ribeiro *et al.* (2018) explicam que a tecnologia de conversão do biogás compreende o processo de combustão controlada que transforma a energia química contida nas ligações entre moléculas em energia mecânica que por sua vez ativa um gerador que converte em energia elétrica.

Lora e Andrade (2009) explicam que a biomassa necessita ser submetida a vários processos a fim de ser utilizada como fonte de energia, como combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e também eletricidade.

Segundo Abreu *et al.* (2010), a gaseificação é o processo que converte a biomassa em um combustível gasoso de médio ou baixo poder calorífico que pode ser usado, dentre outras aplicações, para geração de eletricidade principalmente, em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, pela queima do gás em MCI.

Freitas *et al.* (2019), afirmam que a fração combustível do biogás, resultante da digestão anaeróbia da biomassa, é um tipo de biocombustível com diversas aplicações e potencial de geração de energia, por exemplo, substituindo os combustíveis fósseis no acionamento de termelétricas.

De acordo com Coelho *et al.* (2006b), para determinar o real potencial de geração de energia elétrica do biogás, deve-se avaliar sua composição química, o poder calorífico e a vazão de metano.

Bernal *et al.* (2017), concluíram de seus estudos com biogás de vinhaça, a área plantada com cana-de-açúcar com potencial de geração que pode chegar a $3,26 \text{ TWh}\cdot\text{ano}^{-1}$ que corresponde a 0,54% do consumo de energia doméstica para o ano de 2014. Ribeiro *et al.* (2018) afirmam que se todos os avicultores fizerem o aproveitamento energético em suas granjas seria possível gerar até $1.277 \text{ TWh}\cdot\text{ano}^{-1}$ o que representa 0,22% da energia produzida no Brasil em 2013.

Mensah *et al.* (2021), estimaram que a energia elétrica gerada a partir do biogás produzido pela digestão anaeróbia de efluentes de esgoto de dez cidades no Benin seria suficiente para fornecer 2% da energia importada no país, que representa um potencial de 3,06 MW e $24,1 \text{ GWh}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Como descrevem Lora e Andrade (2009), a energia gerada a partir de sistemas de gaseificadores trará vantagens ambientais por reduzir a necessidade de utilização de queima de diesel em geradores. Uma forma de avaliar a tecnologia de conversão da biomassa em energia

elétrica, segundo Lora e Andrade (2009), é a classificação do empreendimento de acordo com a demanda de energia correlacionando com a tecnologia disponível, conforme ilustra o Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Tecnologias disponíveis para geração de eletricidade a partir de biomassa para diferentes faixas de energia

Tecnologia	Faixa de potência (kW)			
	< 5 kW	< 200 kW	< 1.000 kW	> 1.000 kW
Ciclo de combustão / Vapor				
Gaseificação / ICE				
Gaseificação / GMT				
Gaseificação / SE				
Gaseificação / FC				
Combustão / SE				
Biodiesel / ICE				
ORC - Ciclo Rankine Orgânico				
Gaseificação / GT				

ICE: motor de combustão interna; GMT: microturbina a gás; SE: motor Stirling; FC: célula de combustível; GT: turbina a gás.

Fonte: Extraído e adaptado de Lora e Andrade. (2009)

Em sistemas de geração com potência de até 200 kW, as tecnologias existentes ainda são incipientes e de baixa viabilidade econômica (LORA e ANDRADE, 2009).

2.6 Mercado de micro e minigeração distribuída

No Brasil, a definição de Geração Distribuída (GD) é feita pelo Art. 14º da Lei Nº 5.163 de 2004, que considera a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador excluindo empreendimento hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW e termelétrico com eficiência energética inferior a 75%.

De acordo com Garcez (2017), a GD ou ainda, geração descentralizada, localizada ou presencial, introduz tecnologias modernas de aproveitamento de fontes renováveis de energia o que contribui para reconfiguração do setor elétrico brasileiro. De Andrade *et al.* (2020) afirmam que a GD, além de introduzir novas tecnologias no mercado, reduz o custo da energia elétrica produzida e estabelece medidas de compensação pelo excedente de energia que é direcionada ao sistema de distribuição.

Com a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012 (BRASIL/ANEEL, 2012), que estabelece as condições gerais para o acesso de

microgeração e minigeração distribuída, o mercado brasileiro de energia elétrica passa a permitir que o consumidor possa gerar sua própria energia elétrica utilizando fontes renováveis.

A ANEEL (2018) classifica a micro e minigeração distribuída incluindo quatro fontes: (i) fotovoltaica, (ii) eólica, (iii) termelétrica, que inclui biomassa, e (iv) centrais geradoras hidrelétricas (CGHs).

A Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 (BRASIL/ANEEL, 2015) alterou a Resolução nº 482/2012 ampliando o público alvo da microgeração distribuída com potência instalada até 75 kW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia e minigeração distribuída com potência instalada superior a 75 kW e inferior a 3 MW para fontes hídricas ou menor que 5 MW para cogeração qualificada.

Outro importante marco das Resoluções Normativas ANEEL nº 482/2012 e nº 687/2015 (BRASIL/ANEEL, 2015) foi o sistema de compensação de energia no qual a unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída pode ceder emprestada a energia excedente gerada à distribuidora local e posteriormente ser compensada no consumo de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia favorece a viabilidade econômica de empreendimentos de plantas de biogás de produtores rurais ou agroindústrias, assim como demais fontes de microgeração ou minigeração distribuída, cuja potência instalada esteja delimitada pelos limites da resolução normativa e quando houver demanda pelo uso de energia gerada. Isso porque energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa, de acordo com Art. 1º da Resolução Normativas ANEEL nº 687/2015 (BRASIL/ANEEL, 2015).

Magdesian (2020) menciona a proposta de revisão das Resoluções Normativas ANEEL nº 482/2012 e nº 687/2015 (BRASIL/ANEEL, 2015) sobre o sistema de compensação que passará por consulta pública. A proposta sugere que os consumidores enquadrados na microgeração e minigeração distribuída passem a pagar os custos e encargos do uso das redes de distribuição de energia. A isenção aos atuais consumidores passaria a ter validade até 2030. As mudanças podem tornar menos atraentes futuros empreendimentos de geração distribuída.

2.7 Biofertilizante

Além dos benefícios energéticos do biogás produzido, o subproduto resultante da digestão anaeróbia, conhecido como biofertilizante, é rico em matéria orgânica estabilizada que

contem nutrientes em proporções adequadas, para ser aplicado como fertilizantes nas lavouras (LUCAS JÚNIOR *et al.*, 2009).

Berns *et al.* (2015) explicam que dependendo do tipo de lavoura local é feita aplicação direta da parte líquida do biofertilizante, no entanto em situações que impossibilitem o aproveitamento local são necessários outros mecanismos para promover a secagem e o transporte do biofertilizante. Um exemplo é o processo de eliminação de NH_x , ilustrado na Figura 2.14, que possibilita realizar a secagem do composto orgânico que será utilizado como biofertilizante sólido.

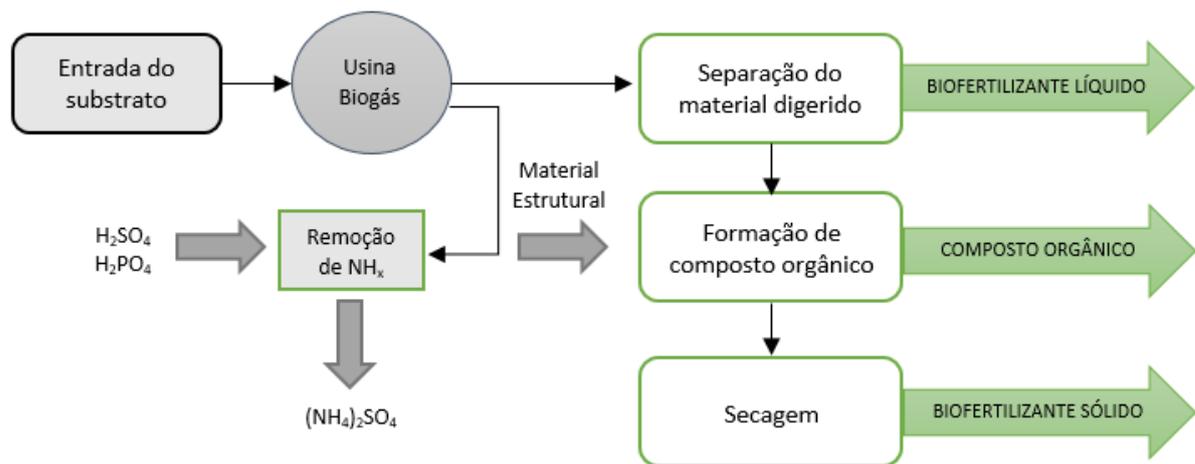


Figura 2.14 – Processo de obtenção de biofertilizante.

Fonte: Adaptado de Berns *et al.* (2015)

Barreira (2011) menciona que o pouco interesse em investimento nos biodigestores se deve a limitada divulgação dos benefícios do biofertilizante, que segundo o autor, é um vantajoso substituto para defensivos agrícolas industriais.

Algumas vantagens do biofertilizante (LUCAS JÚNIOR *et al.*, 2009):

- Não compete com as plantas;
- Os nutrientes estarão “mais disponíveis”, portanto serão absorvidos mais facilmente pelas plantas;
- Não é poluente;
- Não possui o cheiro desagradável e característico que os dejetos tinham antes da biodigestão;
- Não atrai moscas às plantações;
- É livre de microrganismos patogênicos causadores de doenças nas plantas;
- Economia propiciada em relação ao uso de adubos industrializados (BARREIRA, 2011).

Para aplicação do biofertilizante líquido nas lavouras utiliza-se chorumeiras tratorizadas, Figura 2.15, ou fertirrigação, utilizando sistemas de irrigação por aspersão. A fim de evitar que o material aspergido fique depositado nas folhas, recomenda-se complementar a irrigação apenas com água (LUCAS JÚNIOR *et al.*, 2009)



Figura 2.15 – Chorumeira tratorizada aplicando biofertilizante.
Fonte: 4MACHINES (2018)

Segundo o Rodrigues (2021), fertirrigação (Figura 2.16) consiste em aplicar em culturas agrícolas, pecuária ou até mesmo na jardinagem, o biofertilizante diluído em água.



Figura 2.16 – Aplicação de fertilizantes diluídos em água.
Fonte: Adaptado de Centro de Produções Técnicas (2021)

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para este trabalho divide-se na seguinte estrutura:

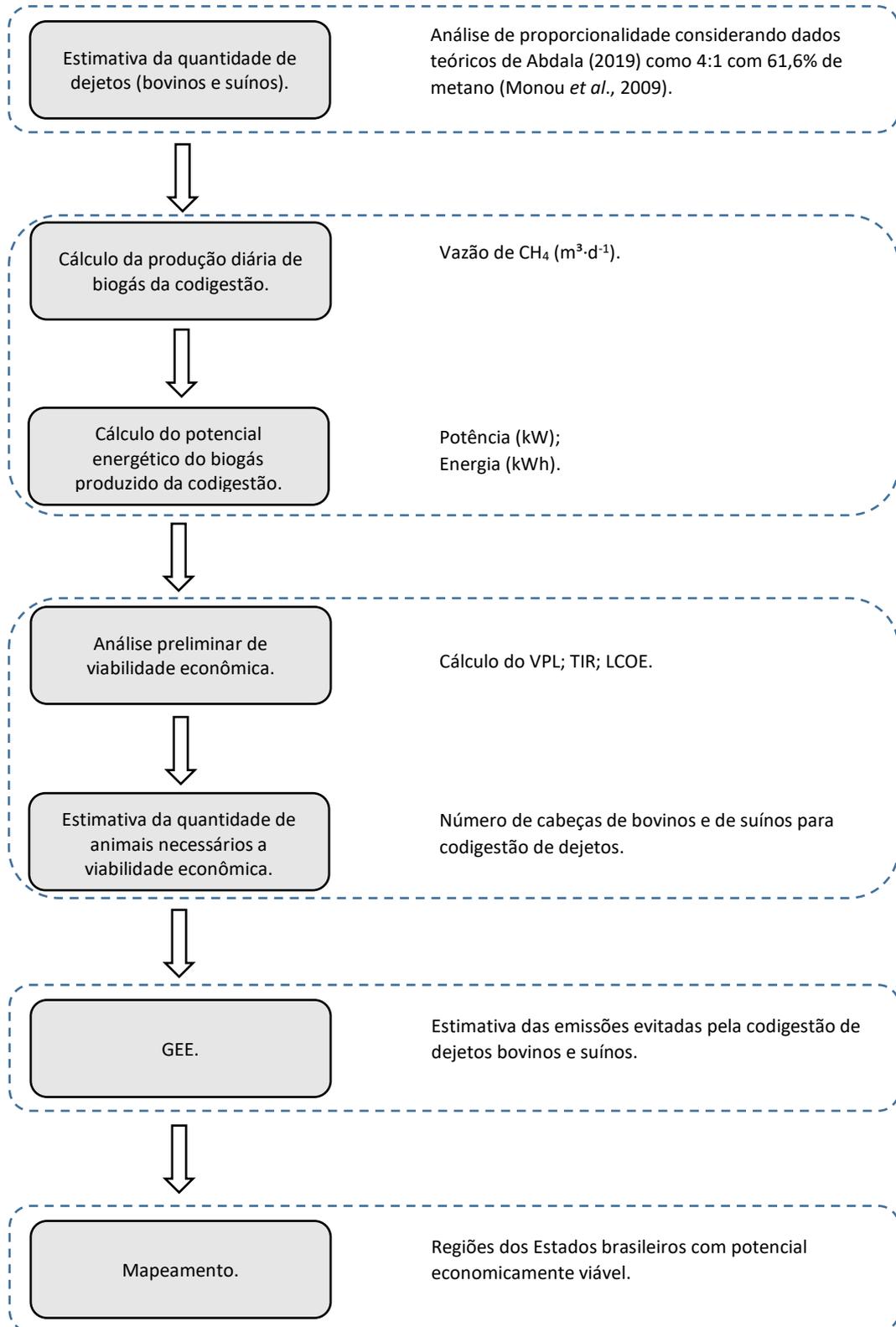


Figura 3.1 – Metodologia adotada pelo estudo.

Fonte: Próprio autor (2021)

3.1 Estimativa da quantidade de dejetos

Para realizar o estudo quantitativo, a respeito da codigestão de dejetos bovinos e suínos, adotou-se as seguintes premissas:

- a) A origem dos dejetos, tanto de bovinos quanto de suínos, é de animais criados em confinamento com características do sistema intensivo;
- b) Entende-se para efeito de cálculo que não há aditivos a mistura além de dejetos bovinos e suínos;

A proporção de animais considera agrupamentos genéricos de lotes em número de cabeças cuja variação em quantidade de animais tem incremento de 30 unidades para bovinos e incremento de 50 unidades de suínos a cada lote.

3.1.1 Dejetos de bovinos

Para estimar a produção diária de dejetos adaptou-se metodologia desenvolvida pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER, 2009), considerando a produção média diária de dejetos de bovinos por categoria em quilogramas, representado pela Equação (3.1).

$$PDDDB = \sum(N^{\circ}_{Bovinos} \times TC \times PE) \quad (3.1)$$

Onde:

PDDDB = Produção diária de dejetos por lote de bovinos (kg.d⁻¹);

N^o_{bovinos} = Número de bovinos por lote;

TC = Tempo de confinamento (h.d⁻¹);

PE = Produção específica de dejetos por categoria (kg.cabeça⁻¹.d⁻¹).

Para efeito de cálculo considera-se o tempo de confinamento de 24 horas por dia.

Barreira (2011) menciona a produção média diária de dejetos de algumas espécies animais, Tabela 3.1, dos quais foi adotado a produção diária de dejetos bovinos neste trabalho, sem distinção por categoria.

Tabela 3.1 – Produção diária de dejetos de algumas espécies de animais

Tipo de animal	Produção diária
Bovino	10 kg
Búfalo	15 kg
Porco (50 kg)	2,25 kg
Galinha (2,5 kg)	0,18 kg
Homem	0,4 kg

Fonte: Extraído e adaptado de Barreira. (2011)

Exemplificando: o primeiro lote conta com 30 unidades de animais, considera-se o tempo de confinamento de 24 horas por dia. Não há distinção por categoria de animal, a produção média de dejetos por bovino adotada é de 10 kg por dia, resulta em 300 kg de dejetos bovinos produzidos diariamente por lote.

3.1.2 Dejetos de suínos

A estimativa de produção diária de dejetos de suínos também considerou a metodologia desenvolvida pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER, 2009), adaptada para produção média diária de dejetos em quilogramas por categoria, representado pela Equação (3.2).

$$PDDS = \sum(N^{\circ}_{\text{Suínos}} \times TC \times PE) \quad (3.2)$$

Onde:

PDDS = Produção diária de dejetos por lote de suínos (kg.d⁻¹);

N^o_{suínos} = Número de suínos por lote;

TC = Tempo de confinamento (h.d⁻¹);

PE = Produção específica de dejetos por categoria (kg.cabeça⁻¹.d⁻¹).

Neste caso o tempo de confinamento é de 24 horas por dia.

Morais (2012), utilizando dados de Oliveira (2004), realizou estudo experimental, concluindo uma estimativa da quantidade de dejetos de suínos produzidos diariamente num determinado lote de suínos, ilustrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Produção média de dejetos por diferentes categorias de suínos

Categoria	Esterco kg/dia (Oliveira 2004)	Nº médio de animais durante o experimento	Dejetos/dia (kg)	% de animais
Recria e terminação (63 a 147 dias)	2,3	180	415,3	39,83%
Leitões (creche 21 - 63 dias)	0,35	211	73,9	46,55%
Porcas reposição, cobrição e gestante	3,6	45	164,0	10,05%
Porcas em lactação com leitões	6,4	10	67,6	2,33%
Cachaços (reprodutores)	3	5	16,9	1,24%

Fonte: Extraído de Oliveira (2004) adaptado por Morais. (2012).

A partir dos resultados experimentais de Morais (2012), adotou-se o percentual de suínos por categoria que constitui cada lote do presente trabalho, de acordo com a última coluna da Tabela 3.2. Desta forma, estimou-se o total de dejetos de suínos produzidos diariamente.

Exemplificando: o primeiro lote de suínos conta com 50 unidades de animais, considerando a composição percentual da Tabela 3.2 resulta na seguinte distribuição:

- 39,83% = 20 unidades de recria e terminação com (63 a 147 dias).
- 46,55% = 23 leitões (creche com 21 a 63 dias).
- 10,05% = 5 porcas reposição, cobrição e gestantes.
- 2,33% = 1 porca em lactação com leitões.
- 1,24% = 1 cachaço (reprodutor).

Totalizando 50 animais pertencentes ao primeiro lote que corresponde a 81,4 kg de dejetos para este lote de suínos. Assim, procede-se os cálculos utilizando incremento de 50 animais por lote.

Para obter a proporção resultante da correlação entre quantidade de dejetos de bovinos e suínos produzida diariamente divide-se um pelo outro, ou seja:

$$Proporção_{(Bovino:Suíno)} = \frac{PDDB}{PDDS} \quad (3.3)$$

No presente estudo, tomando como exemplo o primeiro lote de bovinos e suínos resulta em: 4 partes de dejetos de bovinos por 1 parte de dejetos de suínos (4:1), em conformidade com a conclusão dos estudos de Abdala (2019) para proporção de 4:1 com 61,6% de metano (Monou *et al.*, 2009).

3.2 Cálculo da produção diária de biogás

Para o estudo da produção de biogás, analisou-se a vazão de metano em m³ por dia em função do potencial energético do biogás e a concentração percentual de metano da mistura gasosa para determinada quantidade de substrato como efetuado por Ribeiro *et al.* (2018). O potencial energético do biogás relaciona o volume de biogás produzido por determinada quantidade em massa de substrato Felca *et al.* (2018).

No estudo experimental realizado por Abdala (2019) foram utilizados no experimento triplicada com 9 protótipos de biodigestores ao todo realizando medições diárias de volume de biogás ao longo de 23 semanas para a codigestão de dejetos bovinos e suínos nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1 respectivamente, e avaliou-se a produção e o potencial de biogás. Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se dados de produção semanal e as quantidades do substrato. O estudo de Abdala (2019) concluiu que para maiores proporções de dejetos de bovinos os resultados tendem a mostrar melhoria tanto em quantidade quanto em qualidade do biogás. O potencial energético estimado para as proporções mencionadas de dejetos bovinos e suínos do estudo, estão ilustrados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Potencial energético da proporção de mistura de dejetos

Proporção de mistura de dejetos (Bovino : Suíno)	Potencial energético [m³ de biogás/kg]
1:1	0,0114
1:4	0,0080
4:1	0,0148

Fonte: Extraído e adaptado de Abdala. (2019).

A concentração máxima de metano, expressa percentualmente, resultante da codigestão de dejetos bovinos e suínos foi adotada de acordo com estudo experimental realizado por Monou *et al.* (2009). Os autores fizeram investigações experimentais em pequena escala e identificaram que a concentração de metano neste caso é cerca de 61,6%, conforme exposto na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Concentração máxima de metano durante a digestão anaeróbia e codigestão anaeróbia de gado e porco após 529 horas

Tipo de resíduo	Concentração máxima de metano (%)
Gado	63,1
Porco	52,9
Gado + porco	61,6

Fonte: Extraído e adaptado de Monou *et al.* (2009)

Deste modo, com os dados estimados da quantidade total de dejetos a cada lote de animais calcula-se a vazão de metano por meio da equação 3.4.

$$Q_{CH_4} = P_E \times C(\%) \times [Quant. de dejetos_{(bovinos+suínos)}] \quad (3.4)$$

Onde:

Q_{CH_4} = Vazão de CH₄ (m³·d⁻¹);

P_E = Potencial Energético (m³ de biogás·kg⁻¹);

$C(\%)$ = Concentração máxima de metano da mistura.

Considerando o primeiro lote de animais, ou seja, 30 unidades de bovinos e 50 unidades de suínos, denominado “Lote 1”, resulta na vazão diária de CH₄ de 3,48 m³·d⁻¹.

3.3 Cálculo do potencial energético do biogás

O potencial energético de uma planta de biogás está diretamente relacionado ao volume de gás gerado a partir da biodigestão. Conforme mencionado anteriormente, o volume de biogás varia de acordo com a quantidade e o tipo de substrato. A metodologia adotada pelo presente trabalho para o cálculo do potencial energético considera o grau de eficiência na coleta do gás,

que é determinado pelo sistema biodigestor, e também relaciona o poder calorífico inferior (PCI) do biogás nas CNTP. Desta forma, a potência resultante em função do poder calorífico da queima de biogás é dada por:

$$P = Q_{CH_4} \cdot E_c \cdot PCI \cdot \eta \cdot \left(\frac{1}{31536000} \cdot \frac{1}{1000} \right) \quad (3.5)$$

Onde:

P = Potência (kW);

Q_{CH_4} = Vazão de CH₄ (m³·ano⁻¹);

E_c = Eficiência de coleta do gás (%);

PCI = poder calorífico inferior do biogás (kJ/m³), (adotado 35.800 kJ·m⁻³);

η = rendimento do motor de combustão interna operando em plena carga, (adotado 30% de acordo com Santos *et al.*, 2015);

31.536.000 = tempo de operação ao longo de um ano (s).

A eficiência de um sistema biodigestor pode ser medida observando-se a diminuição da demanda biológica e química por oxigênio (DBO e DQO) da mistura orgânica dos dejetos. Nesse sentido adotou-se a eficiência de coleta de biogás de reator e biodigestor igual a 90% (CHERNICHARO, 2007) e (SANTOS *et al.*, 2018).

De acordo com Barreira (2011), o biogás possui alto PCI, podendo chegar até 50.000 kJ·m⁻³ dependendo da implementação de sistemas de purificação, para o presente trabalho adotou-se o PCI igual a 35.800 kJ·m⁻³, de acordo com The Engineering ToolBox (2018).

A energia produzida ao longo de um ano é diretamente proporcional a potência e ao fator de capacidade (FC) de geração. O cálculo da energia produzida é dado pela Equação (3.6).

$$E = P \times FC \times 8760 \quad (3.6)$$

Onde:

E = Energia gerada em um ano (kWh);

P = potência (kW);

FC = Fator de capacidade de geração, (adotado 80%);

8760 = tempo de operação em um ano (h).

De acordo com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006), em sistemas que usam gás do lixo (GDL) o FC para geração de energia varia entre 80 e 95%, e ainda de acordo com Bezerra (2016), o FC de geração da usina de biogás de aterro, Termoverde Caieiras, é acima de 80%. O equacionamento adota o FC de geração na ordem de 80%.

3.4 Análise de viabilidade econômica

Para avaliar a viabilidade econômica do empreendimento de planta de biogás, é necessário analisar os custos envolvidos considerando os investimentos iniciais com a aquisição de equipamentos e os custos no decorrer do funcionamento do empreendimento, incluindo despesas operacionais com mão de obra e manutenção (O&M). No presente trabalho, a análise financeira utilizou como parâmetros de avaliação do fluxo de caixa o método do valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) comparada a taxa de juros anual, e o custo nivelado de energia (LCOE).

Deve-se considerar ainda, os benefícios da implantação do sistema biodigestor, entre eles a venda do excedente de energia que é fator determinante para tomada de decisão. Outros benefícios dos biodigestores, mencionados anteriormente neste trabalho, também são relevantes no contexto de viabilidade. No entanto, neste subitem é avaliado o ponto de vista econômico de investimento e rentabilidade, cujos cálculos foram desenvolvidos utilizando ferramenta computacional *Microsoft Excel*®.

3.4.1 Cálculo do investimento

No cálculo do investimento inicial foram considerados os dados referentes ao estudo da CETESB (2006) para um projeto de planta de biogás. Foram considerados os custos de equipamentos necessários ao sistema de biodigestão, como o gasômetro (biodigestor); elementos de captação e condução do biogás, que são as tubulações; e equipamentos para o armazenamento e uso do biogás, como compressor e motor de combustão interna.

Os valores estipulados em dólar (US\$) para o ano de 2006 foram corrigidos de acordo com o Índice Geral de Preços e Mercado da Fundação Getúlio Vargas (IGP-M, 2020) para o ano de 2020, conforme ilustrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Custos de equipamentos para planta de biodigestor corrigido pelo IGP-M

Insumo	Quantidade	Custo Unitário	Unidade	Subtotal (US\$)
Gasômetro	1	\$52,05	US\$/m ³	\$52,05
Compressor	1	\$289,29	US\$/(m ³ /h)	\$289,29
Tubulação de Gás	200	\$144,70	US\$/m	\$28.940,00
Motor de Combustão Interna	1	\$578,68	US\$/kW	\$578,68
			TOTAL	\$29.860,02

Fonte: Custo obtido de CETESB. (2006) e corrigido para dezembro de 2020 usando calculadora do cidadão do Banco Central do Brasil (2021).

O tempo de projeto adotado pelo presente trabalho para planta de biogás é de 15 anos, uma vez que não considera sistemas de tratamento e purificação do biogás.

Devido a não contar com sistema de purificação do biogás, considera-se o tempo de vida útil do MCI de 8 anos (LEME, 2014). Estima-se que a partir desse intervalo de tempo, os motores passem a apresentar falhas devido ao desgaste ocasionado pelas impurezas presentes no biogás, sendo necessário realizar a manutenção ou reposição de componentes. Desta forma, no oitavo ano de projeto considera-se a compra de um novo MCI.

O equacionamento utilizado para a estimativa de investimento é fundamentado nos valores da vazão de biogás e potência elétrica, conforme estudo desenvolvido por Santos *et al.* (2015), Equação 3.7.

$$I_{(Total)} = [3 \times Q \times a] + \left[\frac{Q \times b}{24} \right] + [c \times n] + [Pot \times d] \quad (3.7)$$

Onde:

$I_{(Total)}$ = Investimento total do empreendimento;

Q = vazão de biogás ($m^3 \cdot d^{-1}$);

Pot = potência (kW);

n = quantidade de tubulações (m);

a = custo do gasômetro;

b = custo do compressor;

c = custo do metro de tubulação;

d = custo do motor de combustão interna;

3 = referente a três dias de armazenamento do volume de biogás, Santos *et al.* (2015).

3.4.2 Cálculo estimado da receita

De acordo com Freitas *et al.* (2019), o valor de venda da energia se baseia na Resolução Normativa n° 687 de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015). A tarifa varia de acordo com o porte da unidade geradora, até 5 MW aplica-se tarifa da distribuidora, acima de 5 MW utiliza-se tarifa de leilão ou mercado livre. No presente trabalho, considerando a microgeração, foi então adotada a tarifa de R\$509,74 por MWh (R\$0,5097 por kWh), apresentada pela Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), entre 8 de abril de 2015 a 7 de abril de 2017 como em Silva *et al.* (2017).

A receita em função da energia foi estimada por:

$$R_{(Receita)} = [(E \times T) - (5\% \times I_{(Total)})] \quad (3.8)$$

Onde:

$R_{(Receita)}$ = Receita líquida sobre o investimento;

E = Energia gerada em um ano (kWh);

T = Tarifa de venda de energia, (adotado: US\$0,0981 por kWh) este valor corrigido e convertido de acordo com a cotação do dólar em dezembro de 2020, conforme mencionado por Freitas (2019), para o valor de R\$0,5097 por kWh;

5% = custo de operação e manutenção em relação aos investimentos iniciais ($C_{O\&M}$) (LOPES, 2017);

$I_{(Total)}$ = Investimento total do empreendimento.

3.4.3 Cálculo do VPL

O cálculo do VPL permite avaliar se o investimento em um empreendimento trará lucro em determinado período de tempo, considerando a vida útil do projeto. Por meio do somatório dos fluxos de caixa de aplicação financeira segundo uma taxa de juros, avalia-se o cálculo será positivo indicando lucro, ou negativo indicando perdas. A Equação 3.9 foi utilizada para o cálculo do VPL.

$$VPL = \sum_{t=1}^m \frac{E_n \times T - C_{O\&M}}{(1+i)^n} - I \quad (3.9)$$

Onde:

E = Energia gerada em um ano;

n = ano analisado;

m = vida útil do empreendimento;

T = tarifa de venda de energia;

$C_{O\&M}$ = custo de operação e manutenção;

i = taxa de juros;

I = Investimento inicial.

3.4.4 Cálculo da TIR

De acordo com Weber (2014), a TIR, assim como o VPL, é usualmente utilizada para avaliar e classificar o investimento em um projeto.

Segundo Mendes (2017) o valor da TIR atualiza matematicamente o custo do projeto e torna o valor presente líquido nulo. A avaliação da TIR ocorre comparando-se seu valor em determinado instante de tempo de projeto com a taxa de juros ou taxa mínima de atratividade (TMA), denominada “ i ”. Desta forma avalia-se a TIR do seguinte modo:

- O projeto é viável se: $TIR > i$;
- O projeto passa a ser inviável se: $TIR < i$;
- Para: $TIR = i$, esse parâmetro torna indiferente a escolha ou não do projeto.

Para o presente trabalho foi adotada taxa de juros como sendo de 5,00% a.a. para o período de projeto de 15 anos do aproveitamento energético, considerando que a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) para o início de projeto de 1,90% (Banco Central do Brasil, 2020).

3.4.5 Cálculo do LCOE

De acordo com Bruck *et al.* (2018) o Custo Nivelado de Energia (LCOE) é um cálculo que avalia o ciclo de vida do projeto de uma unidade de geração de energia. Ainda segundo os autores, consiste no custo de equilíbrio para geração de energia produzida durante a vida do projeto.

Mostafa *et al.* (2020) mencionam que o LCOE é uma ferramenta muito utilizada para auxiliar nas escolhas operacionais e avaliar os limites de desempenho técnico do empreendimento.

Nissen e Harfst (2019) explicam que o LCOE é calculado dividindo o valor presente líquido do investimento de um empreendimento energético pelos rendimentos da energia gerada, resultando em custos médios por unidade de energia ao longo do tempo (por exemplo, US\$ / kWh). Assim, o LCOE pode ser calculado utilizando-se a equação 3.10.

$$LCOE = \sum_{t=0}^m \frac{\left[\frac{c_n}{(1+i)^n} \right]}{\left[\frac{E_n}{(1+i)^n} \right]} \quad (3.10)$$

Onde:

E = Energia gerada em um ano;

i = taxa de juros;

Cn = custo a cada ano;

n = ano.

De acordo com Santos *et al.* (2019), o LCOE resume a tarifa mínima para venda de energia para obter viabilidade econômica. Também, pode ser usado para comparar o empreendimento com outras fontes de energia.

Mensah *et al.* (2021), explicam que se o LCOE for inferior a tarifa de venda de energia o empreendimento é considerado viável economicamente, se o LCOE for maior que a tarifa de

venda não é viável investir no empreendimento, para igualdade de valor de LCOE e tarifa não interfere diretamente na escolha de investimento.

3.5 Cálculo de emissões evitadas de GEE

Após concluir os resultados de aproveitamento energético do empreendimento proposto de planta de biogás o presente estudo realizou a estimativa da quantidade de emissões evitadas de GEE.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2018), a emissão evitada de GEE é resultante da energia elétrica gerada dentro do SIN relacionado ao fator médio nacional de emissão de GEE, descontado a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) após a combustão estequiométrica do metano (CH₄).

Para o cálculo das emissões de CO₂eq decorrentes do consumo de energia elétrica no foram utilizados os fatores de emissão do SIN. O cálculo é feito utilizando um valor padrão denominado fator de emissões de CO₂ conforme equacionamento 3.11 a seguir.

$$GEE_{evitados} = (E_{anual} \cdot F_{padr\tilde{a}o}) - (E_{anual} \cdot F_{SIN}) \quad (3.11)$$

Onde:

$GEE_{evitados}$ = Quantidade de emissões evitadas de gases de efeito estufa;

E_{anual} = Energia gerada anualmente (MWh);

$F_{padr\tilde{a}o}$ = Fator padrão de emissões de CO₂ (tCO₂/MWh) para o biogás;

F_{SIN} = Fator de emissões de CO₂ do Sistema Interligado Nacional (SIN) (tCO₂/MWh).

De acordo com Nielsen *et al.* (2014), o fator padrão de emissões de CO₂ para o biogás é igual a 83,6 kg CO₂ · GJ⁻¹ que corresponde a 0,30094 tCO₂/MWh.

O fator médio de emissões no ano 2019 no Sistema Interligado Nacional (SIN) segundo dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (BRASIL, 2020) foi de 0,5181 tCO₂/MWh. Shapiro (2020) menciona que, segundo dados do Banco Mundial, o preço da tonelada equivalente de carbono em 2020 ficou em torno de US\$ 20,11.

3.6 Mapeamento

Com o resultado do número de cabeças de bovinos e suínos com proporção 4:1 obtida por Abdala (2019) que resultam em UTE a biogás economicamente viáveis, buscou-se no IBGE (2017), a distribuição dos rebanhos bovinos e suínos no Brasil. Utilizou-se a distância preconizada por Piñas *et al.* (2019) sobre a distância a ser percorrida.

Conforme preconizado por Piñas *et al.* (2019), que consideraram dois tipos de plantas de biogás: uma Usina Centralizada de Biogás (UCB) e uma Usina Descentralizada de Biogás (UDB). De acordo com os autores, as usinas de biogás centralizadas consideraram um sistema de codigestão com um perfil que substratos usados para codigestão produzidos em locais distantes das fazendas onde o biodigestor está instalado. Por outro lado, instalações de biogás descentralizadas consideraram sistemas de monodigestão e codigestão, e os substratos são localizado próximo ao biodigestor. No caso de sistemas de codigestão em UDB, a distância média de transporte foi considerada por Piñas *et al.* (2019), assumindo que os dejetos são localizados no entorno da fazenda onde está instalado o biodigestor. Os autores consideraram na análise econômica, as distâncias de transporte de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 km das plantações até o local onde está instalada a planta de biogás em sistemas centralizados.

Para o presente estudo, considerou-se então uma distância de 20km das instalações de produção de bovinos e suínos até o biodigestor. Entretanto, considerou-se que o custo com o transporte e o ambiental (em termos de GEE) já são existentes por força de legislação ambiental, para algum sistema de destinação final ambientalmente adequado como a compostagem. Para o mapeamento com o número mínimo de cabeças e bovino e de suínos distantes entre si em um raio de até 20 km, utilizou-se o *software* QGIS versão 3.16 (QGIS, s.d.).

O *software* QGIS é uma ferramenta gratuita que utiliza como fonte de dados um *compiled shape*, que é um código de informações coletadas e compiladas. Para gerar os mapas foi baixado do site do IBGE, que disponibiliza códigos no formato *Shapefile* (ESRI) para leitura no QGIS que formata os dados num “sistema de camadas”. Para correlacionar os dados de número de cabeças de bovinos e suínos com os limites dos municípios, esses foram organizados numa matriz vetorial no *software Microsoft Excel*®. Nesta etapa deve-se cuidar para que a planilha de dados não possua qualquer fórmula ou dados fora de contexto em células que não serão usadas. Após baixar os arquivos de limites municipais, carregou-se no programa a base de dados e em seguida optou-se por fazer a seleção por Estados da Federação. Uma vez organizados os vetores, carregou-se as informações no QGIS para correlacionar as informações. Com os dados calculados de viabilidade econômica do presente estudo, realizou-se o fracionamento das

quantidades de animais de maneira a obter uma melhor visualização dos resultados. Por fim, os mapas gerados foram dispostos em *layouts* com as informações de número de cabeças em tabela de cores no estilo de quebra natural (Jenks) para auxiliar na identificação dos municípios.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de potencial energético da codigestão de dejetos

No estudo da codigestão de dejetos bovinos e suínos realizou-se a análise de proporção de quatro partes de dejetos bovinos para uma parte de dejetos de suínos com o objetivo de determinar a quantidade de cabeças de animais necessária para viabilidade de um empreendimento de aproveitamento energético do biogás. A análise dos resultados foi feita com relação a viabilidade econômica do potencial energético da codigestão da mistura de dejetos.

Os resultados de vazão de CH₄ estão ilustrados na Figura 4.1 que representa graficamente a relação de vazão de metano (m³·ano⁻¹) pela quantidade de determinada mistura de dejetos (kg·d⁻¹).

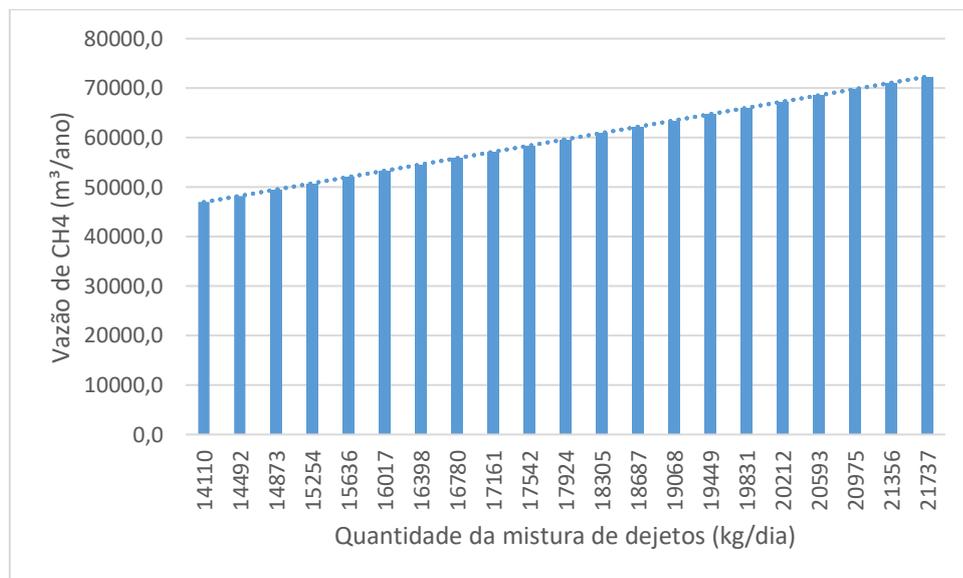


Figura 4.1 – Vazão estimada de CH₄ em relação a mistura de dejetos da codigestão
Fonte: Próprio autor (2021)

$$Q_{(CH_4)}(m^3/ano) = 1.269(Quant.de dejetos) + 45.685 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 1$$

Avaliando-se os resultados de vazão de metano, nota-se o crescimento em relação a quantidade da mistura de dejetos da proporção analisada para cada lote de animais.

A partir dos resultados de vazão de metano foram calculados os valores de potência elétrica para cada lote de animais estudados.

Os resultados para potência elétrica (kW) estimada em relação a quantidade de dejetos da mistura analisada estão ilustrados pelo gráfico da Figura 4.2.

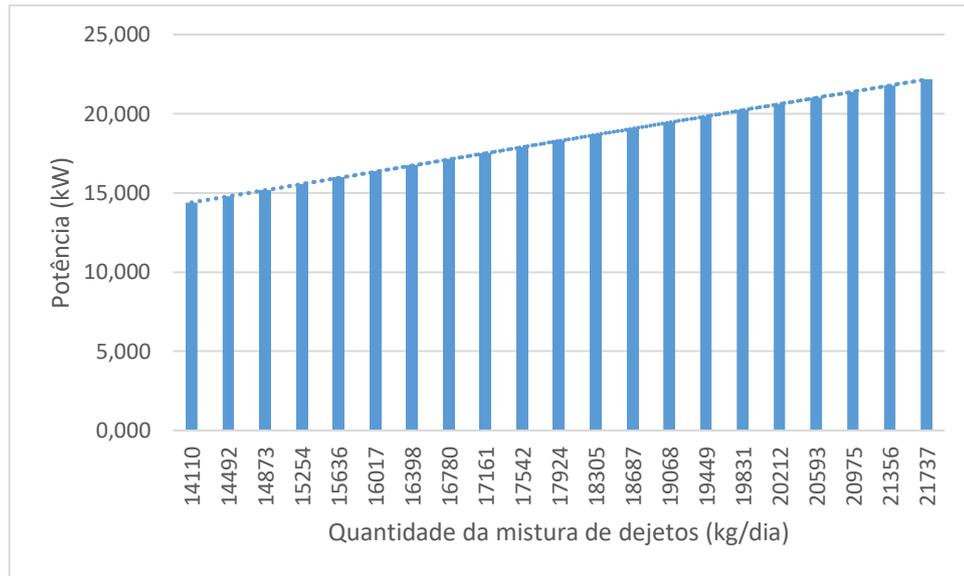


Figura 4.2 – Potência estimada em relação a mistura de dejetos da codigestão

Fonte: Próprio autor (2021)

$$Potência (kW) = 0,4322(Quant. de dejetos) + 12,533 \quad (4.2)$$

$$R^2 = 1$$

Em relação a energia gerada a partir da codigestão de dejetos bovinos e suínos, os resultados mostraram que conforme aumenta a quantidade de dejetos da mistura aumenta a geração de energia elétrica conforme ilustra a Figura 4.3.

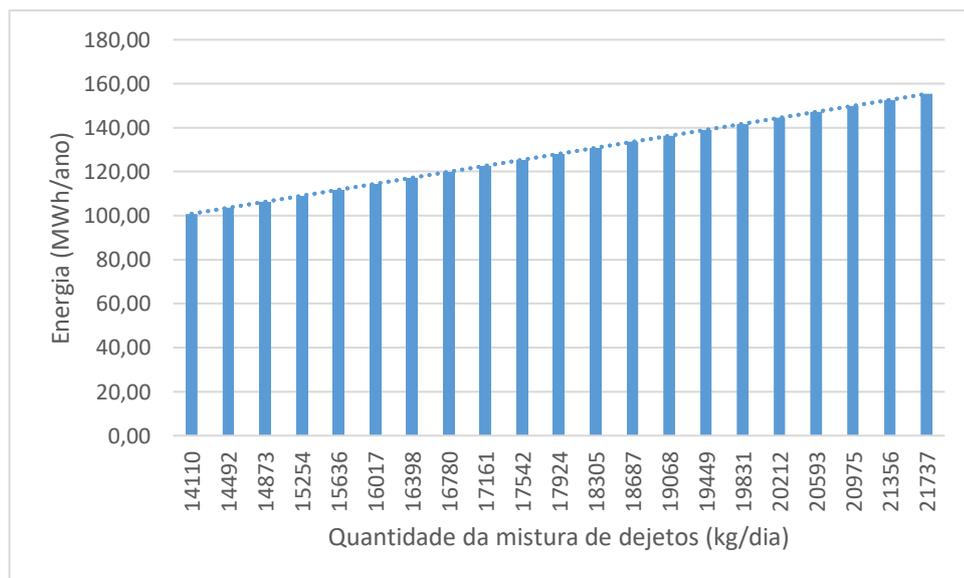


Figura 4.3 – Energia gerada em relação a mistura de dejetos da codigestão

Fonte: Próprio autor (2021)

$$Energia (MWh/ano) = 2,7259(Quant. de dejetos) + 98,131 \quad (4.3)$$

$$R^2 = 1$$

A estimativa do potencial energético da codigestão de dejetos bovinos e suínos considerando o total do rebanho bovino e suíno no Brasil, seja em torno de 1,8 GW, o que corresponde a 1,03% do total de energia produzida no Brasil em 2020 (ANEEL, 2021).

Os resultados completos do presente trabalho com relação ao potencial energético do biogás produzido da codigestão de dejetos bovinos e suínos encontram-se no Apêndice A.

4.2 Análise do VPL e da TIR

O cálculo do VPL, considerando o tempo de projeto de 15 anos, a uma taxa de juros anual de 5,00% resultou num retorno de investimento, ou seja, no lucro líquido, para a proporção de cabeças de animais a partir de 1.410 bovinos e 2.350 suínos conforme ilustrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Correlação entre número de animais, VPL e TIR

Número de cabeças de Bovinos	Número de cabeças de Suínos	VPL	TIR
[Unidades]	[Unidades]		
1320	2200	\$-2.297,22	4,55%
1350	2250	\$-1.150,54	4,78%
1380	2300	\$-3,86	5,00%
1410	2350	\$1.142,83	5,21%
1440	2400	\$2.289,51	5,42%
1470	2450	\$3.436,19	5,62%
1500	2500	\$4.582,87	5,81%

Fonte: Próprio autor. (2021)

A evolução do investimento ao longo do tempo é dada pelo fluxo de caixa e analisada pelo VPL com relação a mudança da quantidade da mistura de dejetos, ou seja, quanto maior a quantidade de dejetos, maior será a rentabilidade do empreendimento.

Os resultados do VPL e da TIR mostraram que o empreendimento passa a ser economicamente viável, a partir da quantidade total de dejetos igual ou superior a 18,0 toneladas, (cerca de 14,1 toneladas de dejetos bovinos e cerca de 3,9 toneladas de dejetos suínos). Essa é a massa mínima da mistura de dejetos que torna o VPL nulo e resulta no valor da TIR maior que a taxa de juros de 5,00% conforme adotado pela metodologia do presente trabalho.

A relação entre quantidade da mistura de dejetos de bovinos e suínos com o valor presente líquido está ilustrado graficamente pela Figura 4.4.

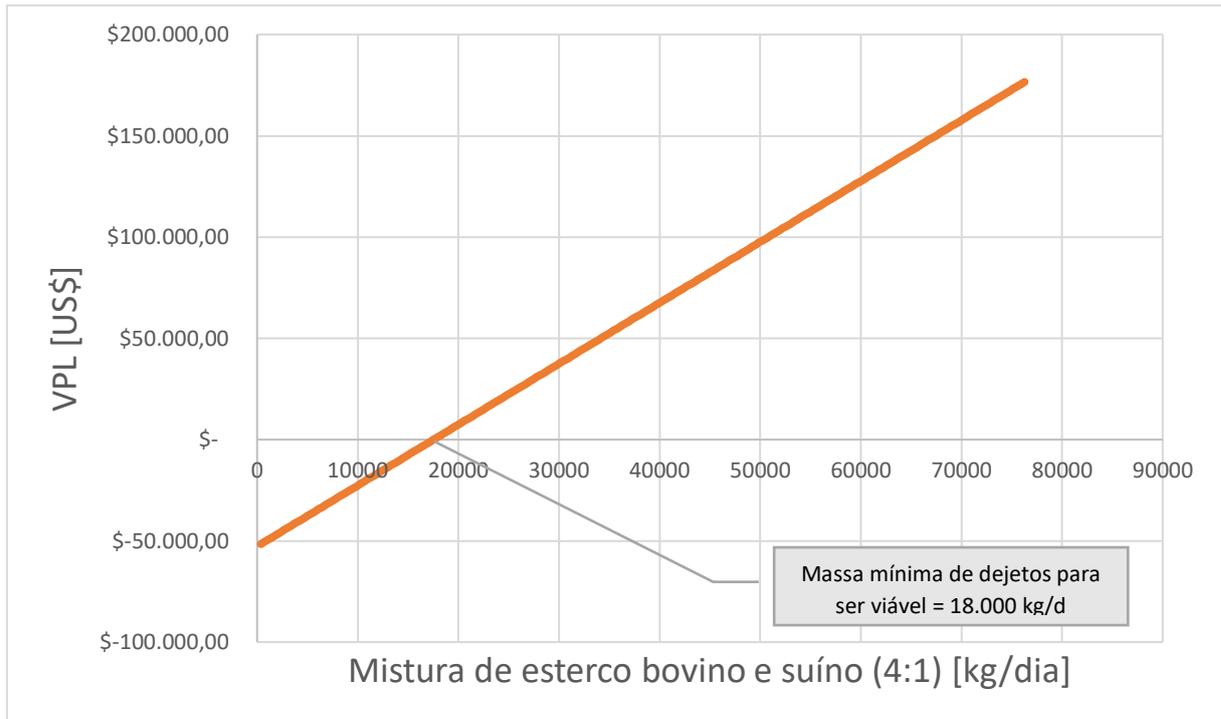


Figura 4.4 – Gráfico do VPL em relação a mistura de dejetos da codigestão
Fonte: Próprio autor (2021)

Os resultados completos do presente trabalho com relação ao VPL e TIR encontram-se no Apêndice B.

4.3 Análise do LCOE

Os empreendimentos estudados por esse trabalho são relativamente pequenos e o custo nivelado de energia é um importante parâmetro de análise de viabilidade que pode auxiliar na tomada de decisão comparando diferentes tipos de investimento.

Santos *et al.* (2019), estudaram valores de LCOE para aproveitamento energético de biogás de RSU e concluíram que para biogás de aterro o LCOE resultou em US\$88,83 por MWh (US\$0,08883 por kWh).

Silva *et al.* (2021), concluíram dos estudos de aproveitamento energético do biogás produzido da digestão anaeróbia de casca de arroz que o LCOE médio para áreas de cultivo de arroz no Brasil é de US\$56,47 por MWh (US\$0,05647 por kWh).

O valor da tarifa de energia neste estudo é de US\$0,0981 por kWh e como afirmado na metodologia, para que o empreendimento seja economicamente viável, o valor do LCOE deve ser inferior ao valor da tarifa de energia

No presente estudo, o LCOE representa a tarifa mínima em para determinada quantidade de dejetos em kg·dia⁻¹ que torna o projeto viável, Figura 4.5.

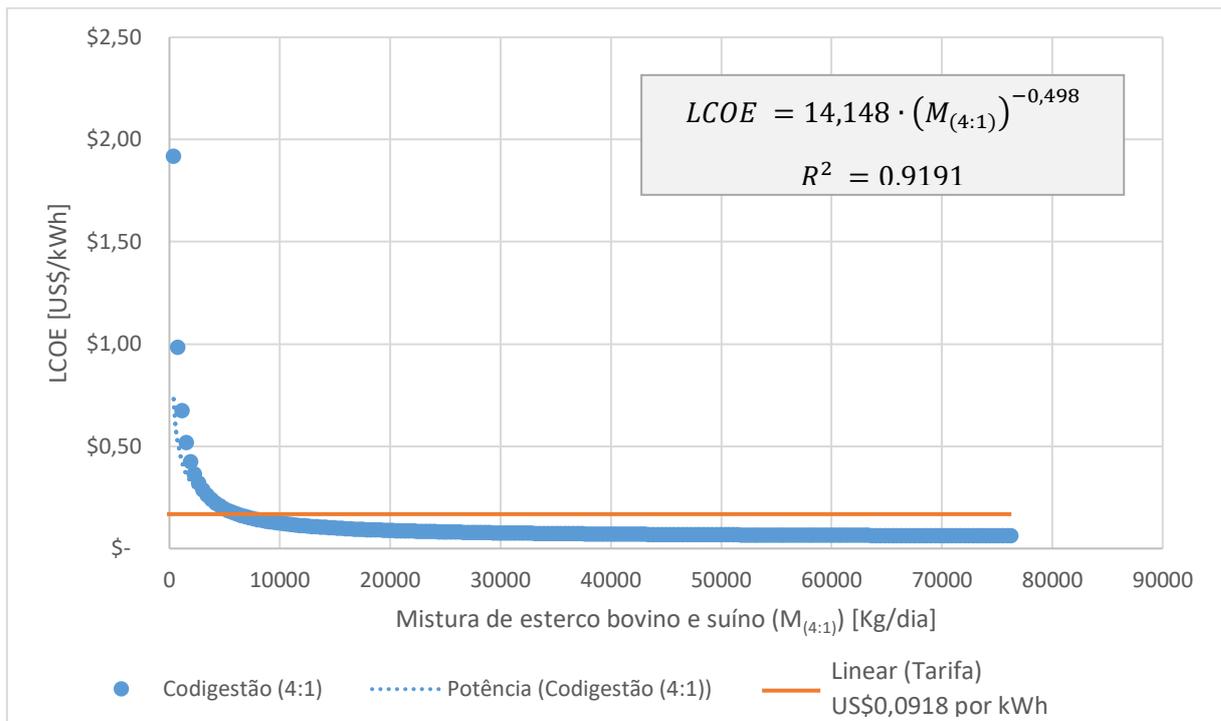


Figura 4.5 – Gráfico do Custo Nivelado de Energia (LCOE)
Fonte: Próprio autor (2021)

Os resultados do LCOE do presente trabalho são interpretados como a tarifa mínima de venda de energia para cada lote de animais que compõe a mistura de esterco.

O valor mínimo do LCOE para investimento economicamente viável é de US\$0,0918 por kWh que corresponde a quantidade mínima de animais que tornam o empreendimento viável, ou seja, 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos. Esse valor foi calculado com auxílio do *Microsoft Excel*® a partir do somatório dos custos de investimento a cada ano em razão do somatório da quantidade de energia gerada a cada ano, considerando a taxa de juros de 5,00%. Isso indica que quanto maior o número de cabeças de animais, maior serão os lucros do empreendimento.

Os resultados completos com relação ao LCOE encontram-se no Apêndice B.

4.4 Análise de emissões evitadas de GEE

A estimativa das emissões de GEE evitadas pela geração de energia elétrica a partir do biogás produzido da codigestão das misturas de dejetos bovinos e suínos de cada lote.

Os valores de emissão de GEE estão com sinal negativo, representando as emissões evitadas, resultando num gráfico decrescente, conforme ilustra a Figura 4.6.

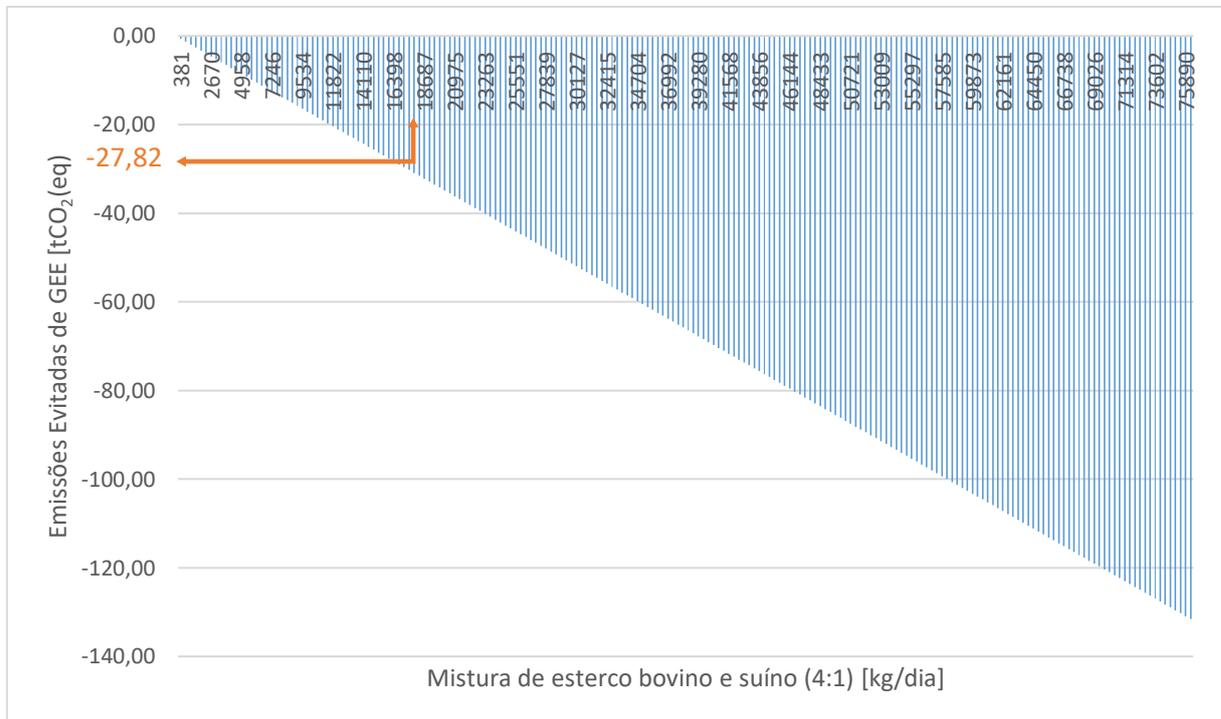


Figura 4.6 – Gráfico de Emissões Evitadas de GEE
Fonte: Próprio autor (2021)

Analisando os resultados obtidos para a emissão evitada de GEE, considerando a energia gerada a partir da viabilidade econômica, seriam evitadas 27,82 tCO₂eq/ano a cada empreendimento com no mínimo 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos.

Segundo dados da EPE (2020), o total de energia elétrica consumida pela rede em 2020 foi cerca de 482 TWh que resultou num total de 53,4 milhões tCO₂ emitidos considerando o setor de energia de acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2020).

Os resultados completos correlacionando o número de animais e a quantidade evitada de emissões de GEE para cada empreendimento analisado neste estudo encontram-se no Apêndice B.

4.5 Mapeamento do potencial de geração de energia pelo uso do biogás da codigestão de dejetos bovinos e suínos no Brasil

O mapeamento das localizações dos estados brasileiros com potencial de aproveitamento energético do biogás produzido da codigestão de dejetos bovinos e suínos foi realizado utilizando o *software* QGIS versão 3.16 (QGIS, s.d.). As bases de dados cartográficos utilizadas foram extraídas do inventário do IBGE (2017), relacionadas aos limites municipais, estaduais e de fronteiras do Brasil. As informações cartográficas foram correlacionadas aos dados vetoriais de acordo com o censo agropecuário do IBGE (2017) para o total de rebanho bovino e suíno distribuídos pelos municípios brasileiros.

Os resultados foram representados em mapas espelhados para os rebanhos bovino e suíno de acordo com a viabilidade econômica determinada pelo presente trabalho. Optou-se por organizar os mapas por limites estaduais, de modo a favorecer a visualização dos municípios em escala de representação adequada para correlacionar a distância máxima de transporte de 20 km (PIÑAS *et al.* (2019), exemplificado pela Figura 4.7 com o mapeamento do Estado de Minas Gerais.

As escalas logo abaixo dos mapas representam a quantidade de animais identificada por graduação do vermelho ao verde. Para os municípios em vermelho não há viabilidade econômica para investimento. Já os municípios em tons claros e esverdeados há condições econômicas para investimento. A tomada de decisão deve considerar simultaneamente ambas representações cartográficas para cada município.

Dos resultados ilustrados no mapeamento conclui-se que todos os estados têm potencial para o aproveitamento energético da codigestão de dejetos de bovinos e suínos. A distribuição dos rebanhos por municípios demonstra que o número de suínos é um limitador para instalação de empreendimentos energéticos.

Destacam-se como os principais produtores de bovinos, os municípios de Corumbá-MS com quase 2 milhões de cabeças, São Félix do Xingu-PA com cerca de 1,5 milhão de cabeças e Ribas do Rio Pardo-MS com aproximadamente 1,1 milhão de cabeças.

Corumbá-MS conta com cerca de 6.000 suínos, São Félix do Xingu-PA tem aproximadamente 41.000 cabeças de suínos e Ribas do Rio Pardo-MS tem cerca de 2.196 cabeças de suínos. Neste último exemplo o número de suínos é limitador para projetos de codigestão, no entanto a elevada concentração de cabeças de bovinos gera maior quantidade de dejetos o eleva a concentração de metano da mistura resultando em grande potencial de

aproveitamento energético do biogás ainda que o número de suínos seja inferior a quantidade mínima calculada pelo presente trabalho.

Os principais municípios brasileiros produtores de suínos são Toledo-PR com aproximadamente 960.000 suínos, Rio Verde-GO com quase 800.000 cabeças e Concórdia-SC com cerca de 450.000 suínos.

Toledo-PR conta com quase 45.000 cabeças de bovinos, Rio Verde-GO têm aproximadamente 235.000 cabeças de bovinos e em Concórdia-SC são cerca de 65.000 cabeças de bovinos. Nos três últimos exemplos há grande potencial de aproveitamento energético do biogás resultante da codigestão anaeróbia de dejetos suínos e bovinos.

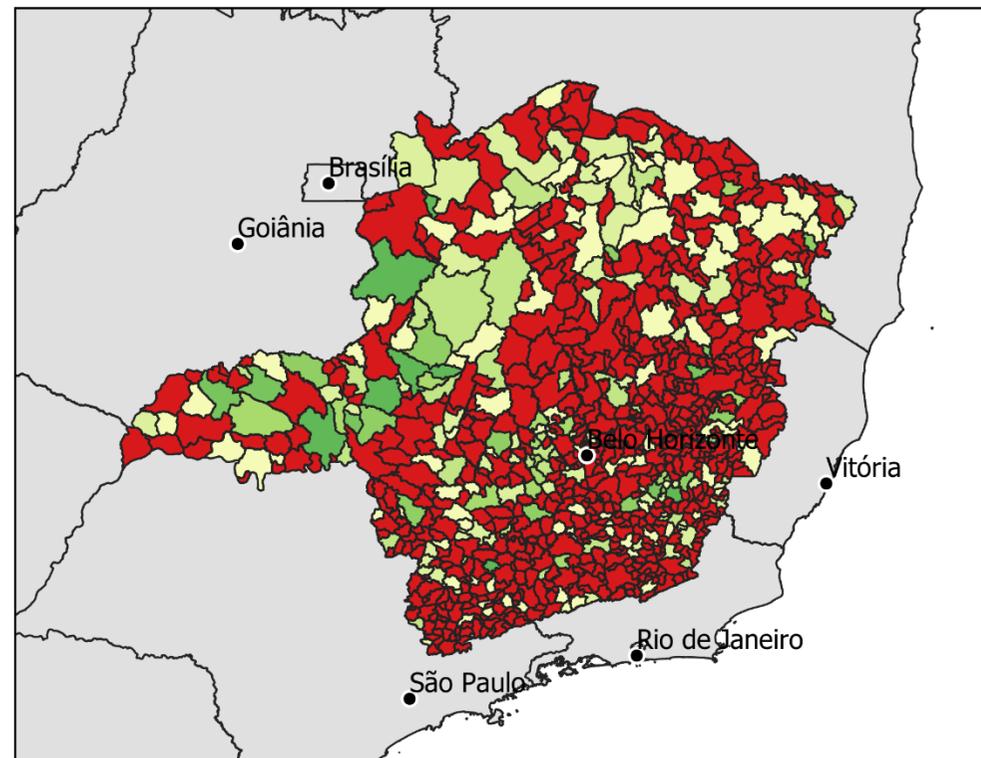
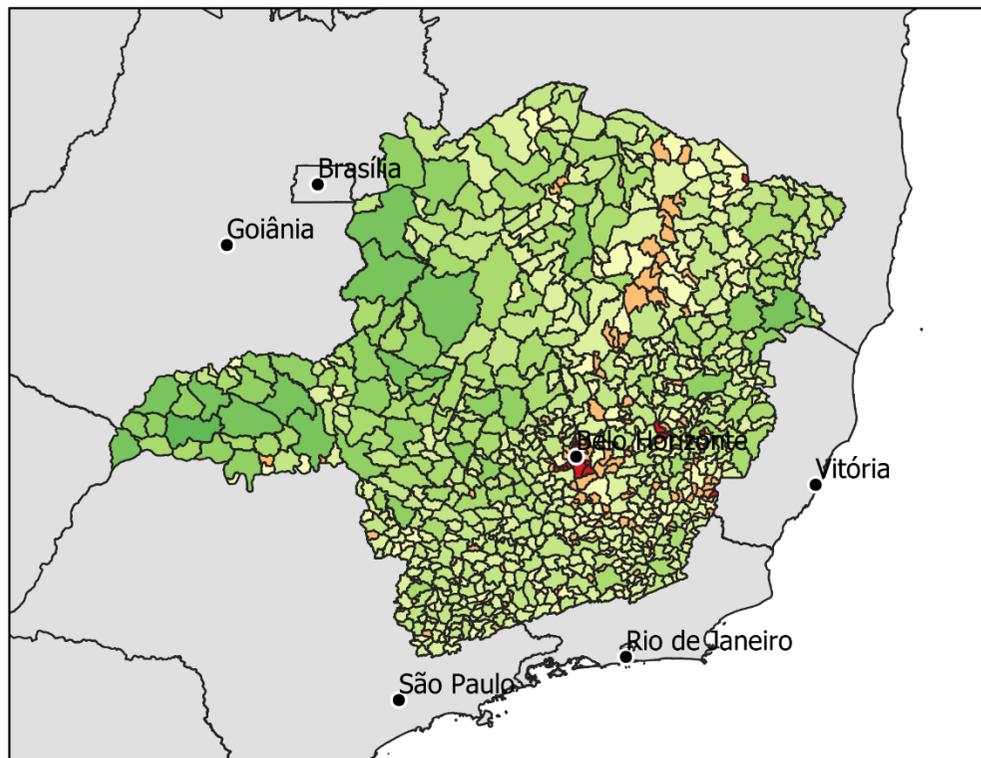
O menor potencial considerando a distribuição dos rebanhos e a distância limite para deslocamento dos dejetos para aproveitamento são os estados do Amazonas cujas dimensões territoriais não favorecem o deslocamento dos dejetos e em sua maior porção territorial é de florestas e de municípios com baixa densidade populacional, o Amapá que conta com os pequenas rebanhos de bovinos (cerca de 7.800 cabeças) e suínos (cerca de 7.300 cabeças) considerando sua extensão territorial e Paraíba cujo rebanho de suínos é o principal limitador.

A análise pode ser feita para todos os municípios brasileiros com o auxílio do mapeamento descartando-se aqueles municípios em vermelho, uma vez que seus rebanhos de bovinos e ou suínos não atinjam a quantidade mínima necessária para o aproveitamento energético.

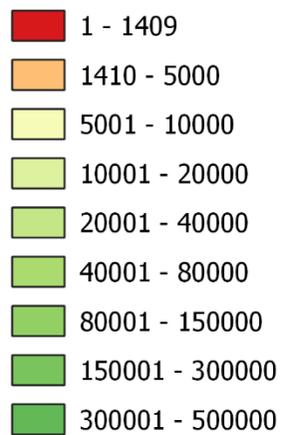
Vale ressaltar que existem casos de agroindústrias que concentram grandes quantidades de animais garantindo a melhor coleta e aproveitamento dos dejetos para a biodigestão anaeróbia. Nestes casos sugere-se realizar análises pontuais para investimento em empreendimentos energéticos.

O mapeamento completo encontra-se no Apêndice C.

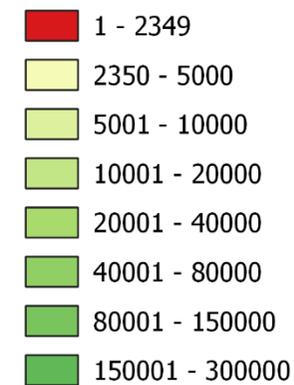
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Minas Gerais



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

5 CONCLUSÕES

O número de estabelecimentos agropecuários de criação de bovinos e suínos no Brasil é consideravelmente grande e implementar o saneamento dos rejeitos destas atividades é uma necessidade que causa aumento dos custos de produção. O biogás produzido pela digestão anaeróbia dos dejetos tem potencial de gerar energia elétrica e mitigar esses custos, proporcionando o saneamento e transformando um passivo ambiental em ativo econômico.

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica de sistemas digestores anaeróbios que utilizem como substrato a mistura de dejetos bovinos e suínos para produção e aproveitamento energético de biogás. Desta forma auxiliar na tomada de decisão de futuros projetos de plantas de biogás através do mapeamento da distribuição dos rebanhos bovinos e suínos no Brasil.

A análise concluiu, através de dados encontrados na literatura, que quanto maior a proporção de dejetos de bovinos ante dejetos de suínos, maior será a produção de biogás resultante da codigestão anaeróbia. Entretanto, implementar a codigestão dos dejetos é uma opção de viabilizar sistemas de saneamento e prevenir situações de sazonalidade da obtenção dos dejetos.

A partir dos resultados quanti-qualitativos da geração de energia, e dados de investimento adotados no presente trabalho, concluiu-se que para atingir a viabilidade econômica, empreendimentos que utilizem a codigestão de dejetos bovinos e suínos na proporção de 4 para 1, respectivamente, devem contar com números absolutos a partir de 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos. A viabilidade econômica considerando o potencial energético abrange agroindústrias de médio e grande porte com sistema digestor local ou o transporte e manejo centralizado de vários produtores de pequeno e médio porte. Os resultados do estudo mostraram que para alcançar viabilidade econômica, esses empreendimentos devem contar com no mínimo 14.100 kg de dejetos bovinos e 3.824 kg de dejetos suínos totalizando aproximadamente 18 toneladas para mistura que resulta na vazão de biogás de $163,41 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ e energia elétrica gerada de $128,12 \text{ MWh} \cdot \text{ano}^{-1}$. A viabilidade econômica está ligada a fatores como custos de investimento, operação e manutenção e a tarifa de energia.

Os resultados mostraram ainda que na análise de GEE seriam evitadas $27,82 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{ano}^{-1}$ a cada empreendimento com no mínimo 1.410 cabeças de bovinos e 2.350 cabeças de suínos.

Da distribuição dos rebanhos bovino e suíno no Brasil, considerando os resultados obtidos pelo presente trabalho, praticamente todos Estados tem potencial de aproveitamento energético do biogás produzido da codigestão. Destacam-se com maior potencial os Estados da região Norte (Acre, Pará, Rondônia e Roraima), da região Nordeste (Bahia, Ceará e Piauí), os estados da região Centro Oeste e Distrito Federal, os estados da região Sul, e parte do Estado de Minas Gerais na região Sudeste.

Finalmente, conclui-se que a codigestão de dejetos bovinos e suínos é aplicável e viável em grande parte do território nacional possibilitando solucionar problemas ambientais causados pelo acúmulo de dejetos e agregar valor à produção pecuária com o aproveitamento energético do biogás e utilização do digestato. No entanto, faz-se necessário estimular o setor com incentivo de compensação por gerar energia renovável e prover saneamento ambiental, e investir em pesquisa e desenvolvimento das plantas de biogás com finalidade de reduzir custos e tornar o empreendimento mais competitivo na geração de energia.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para estudos futuros:

- A. Realizar estudos sobre a logística de transportes dos dejetos em sistemas centralizados de plantas de biogás, no que diz respeito aos custos e o impacto sobre a viabilidade econômica;
- B. Outra proposta de estudo é comparar diferentes misturas de substrato da atividade pecuária;
- C. Avaliar o impacto das mudanças propostas ao sistema de compensação das Resoluções Normativas ANEEL nº 482/2012 e nº 687/2015 (BRASIL/ANEEL, 2015) para possíveis empreendimentos de plantas de biogás no futuro.

APÊNDICE – A: Correlação entre o número de animais, Vazão de CH₄, Potência e Energia

Número de cabeças de Bovinos	Número de cabeças de Suínos	Vazão de CH ₄	Potência	Energia
[Unidades]	[Unidades]	(m ³ /dia)	(kW)	(MWh/ano)
<i>Incremento</i>	<i>Incremento</i>			
30	50			
30	50	3,48	0,389	2,73
60	100	6,95	0,778	5,45
90	150	10,43	1,167	8,18
120	200	13,91	1,556	10,90
150	250	17,38	1,945	13,63
180	300	20,86	2,334	16,36
210	350	24,34	2,723	19,08
240	400	27,81	3,112	21,81
270	450	31,29	3,501	24,53
300	500	34,77	3,890	27,26
330	550	38,24	4,279	29,98
360	600	41,72	4,668	32,71
390	650	45,20	5,057	35,44
420	700	48,67	5,445	38,16
450	750	52,15	5,834	40,89
480	800	55,63	6,223	43,61
510	850	59,11	6,612	46,34
540	900	62,58	7,001	49,07
570	950	66,06	7,390	51,79
600	1000	69,54	7,779	54,52
630	1050	73,01	8,168	57,24
660	1100	76,49	8,557	59,97
690	1150	79,97	8,946	62,69
720	1200	83,44	9,335	65,42
750	1250	86,92	9,724	68,15
780	1300	90,40	10,113	70,87
810	1350	93,87	10,502	73,60
840	1400	97,35	10,891	76,32
870	1450	100,83	11,280	79,05
900	1500	104,30	11,669	81,78
930	1550	107,78	12,058	84,50
960	1600	111,26	12,447	87,23
990	1650	114,73	12,836	89,95

1020	1700	118,21	13,225	92,68
1050	1750	121,69	13,614	95,40
1080	1800	125,16	14,003	98,13
1110	1850	128,64	14,392	100,86
1140	1900	132,12	14,781	103,58
1170	1950	135,59	15,170	106,31
1200	2000	139,07	15,559	109,03
1230	2050	142,55	15,948	111,76
1260	2100	146,02	16,336	114,49
1290	2150	149,50	16,725	117,21
1320	2200	152,98	17,114	119,94
1350	2250	156,45	17,503	122,66
1380	2300	159,93	17,892	125,39
1410	2350	163,41	18,281	128,12
1440	2400	166,88	18,670	130,84
1470	2450	170,36	19,059	133,57
1500	2500	173,84	19,448	136,29
1530	2550	177,32	19,837	139,02
1560	2600	180,79	20,226	141,74
1590	2650	184,27	20,615	144,47
1620	2700	187,75	21,004	147,20
1650	2750	191,22	21,393	149,92
1680	2800	194,70	21,782	152,65
1710	2850	198,18	22,171	155,37
1740	2900	201,65	22,560	158,10
1770	2950	205,13	22,949	160,83
1800	3000	208,61	23,338	163,55
1830	3050	212,08	23,727	166,28
1860	3100	215,56	24,116	169,00
1890	3150	219,04	24,505	171,73
1920	3200	222,51	24,894	174,45
1950	3250	225,99	25,283	177,18
1980	3300	229,47	25,672	179,91
2010	3350	232,94	26,061	182,63
2040	3400	236,42	26,450	185,36
2070	3450	239,90	26,838	188,08
2100	3500	243,37	27,227	190,81
2130	3550	246,85	27,616	193,54
2160	3600	250,33	28,005	196,26
2190	3650	253,80	28,394	198,99
2220	3700	257,28	28,783	201,71
2250	3750	260,76	29,172	204,44

2280	3800	264,23	29,561	207,17
2310	3850	267,71	29,950	209,89
2340	3900	271,19	30,339	212,62
2370	3950	274,66	30,728	215,34
2400	4000	278,14	31,117	218,07
2430	4050	281,62	31,506	220,79
2460	4100	285,10	31,895	223,52
2490	4150	288,57	32,284	226,25
2520	4200	292,05	32,673	228,97
2550	4250	295,53	33,062	231,70
2580	4300	299,00	33,451	234,42
2610	4350	302,48	33,840	237,15
2640	4400	305,96	34,229	239,88
2670	4450	309,43	34,618	242,60
2700	4500	312,91	35,007	245,33
2730	4550	316,39	35,396	248,05
2760	4600	319,86	35,785	250,78
2790	4650	323,34	36,174	253,50
2820	4700	326,82	36,563	256,23
2850	4750	330,29	36,952	258,96
2880	4800	333,77	37,340	261,68
2910	4850	337,25	37,729	264,41
2940	4900	340,72	38,118	267,13
2970	4950	344,20	38,507	269,86
3000	5000	347,68	38,896	272,59
3030	5050	351,15	39,285	275,31
3060	5100	354,63	39,674	278,04
3090	5150	358,11	40,063	280,76
3120	5200	361,58	40,452	283,49
3150	5250	365,06	40,841	286,21
3180	5300	368,54	41,230	288,94
3210	5350	372,01	41,619	291,67
3240	5400	375,49	42,008	294,39
3270	5450	378,97	42,397	297,12
3300	5500	382,44	42,786	299,84
3330	5550	385,92	43,175	302,57
3360	5600	389,40	43,564	305,30
3390	5650	392,87	43,953	308,02
3420	5700	396,35	44,342	310,75
3450	5750	399,83	44,731	313,47
3480	5800	403,31	45,120	316,20
3510	5850	406,78	45,509	318,93

3540	5900	410,26	45,898	321,65
3570	5950	413,74	46,287	324,38
3600	6000	417,21	46,676	327,10
3630	6050	420,69	47,065	329,83
3660	6100	424,17	47,454	332,55
3690	6150	427,64	47,843	335,28
3720	6200	431,12	48,231	338,01
3750	6250	434,60	48,620	340,73
3780	6300	438,07	49,009	343,46
3810	6350	441,55	49,398	346,18
3840	6400	445,03	49,787	348,91
3870	6450	448,50	50,176	351,64
3900	6500	451,98	50,565	354,36
3930	6550	455,46	50,954	357,09
3960	6600	458,93	51,343	359,81
3990	6650	462,41	51,732	362,54
4020	6700	465,89	52,121	365,26
4050	6750	469,36	52,510	367,99
4080	6800	472,84	52,899	370,72
4110	6850	476,32	53,288	373,44
4140	6900	479,79	53,677	376,17
4170	6950	483,27	54,066	378,89
4200	7000	486,75	54,455	381,62
4230	7050	490,22	54,844	384,35
4260	7100	493,70	55,233	387,07
4290	7150	497,18	55,622	389,80
4320	7200	500,65	56,011	392,52
4350	7250	504,13	56,400	395,25
4380	7300	507,61	56,789	397,97
4410	7350	511,08	57,178	400,70
4440	7400	514,56	57,567	403,43
4470	7450	518,04	57,956	406,15
4500	7500	521,52	58,345	408,88
4530	7550	524,99	58,733	411,60
4560	7600	528,47	59,122	414,33
4590	7650	531,95	59,511	417,06
4620	7700	535,42	59,900	419,78
4650	7750	538,90	60,289	422,51
4680	7800	542,38	60,678	425,23
4710	7850	545,85	61,067	427,96
4740	7900	549,33	61,456	430,69
4770	7950	552,81	61,845	433,41

4800	8000	556,28	62,234	436,14
4830	8050	559,76	62,623	438,86
4860	8100	563,24	63,012	441,59
4890	8150	566,71	63,401	444,31
4920	8200	570,19	63,790	447,04
4950	8250	573,67	64,179	449,77
4980	8300	577,14	64,568	452,49
5010	8350	580,62	64,957	455,22
5040	8400	584,10	65,346	457,94
5070	8450	587,57	65,735	460,67
5100	8500	591,05	66,124	463,40
5130	8550	594,53	66,513	466,12
5160	8600	598,00	66,902	468,85
5190	8650	601,48	67,291	471,57
5220	8700	604,96	67,680	474,30
5250	8750	608,43	68,069	477,02
5280	8800	611,91	68,458	479,75
5310	8850	615,39	68,847	482,48
5340	8900	618,86	69,235	485,20
5370	8950	622,34	69,624	487,93
5400	9000	625,82	70,013	490,65
5430	9050	629,30	70,402	493,38
5460	9100	632,77	70,791	496,11
5490	9150	636,25	71,180	498,83
5520	9200	639,73	71,569	501,56
5550	9250	643,20	71,958	504,28
5580	9300	646,68	72,347	507,01
5610	9350	650,16	72,736	509,74
5640	9400	653,63	73,125	512,46
5670	9450	657,11	73,514	515,19
5700	9500	660,59	73,903	517,91
5730	9550	664,06	74,292	520,64
5760	9600	667,54	74,681	523,36
5790	9650	671,02	75,070	526,09
5820	9700	674,49	75,459	528,82
5850	9750	677,97	75,848	531,54
5880	9800	681,45	76,237	534,27
5910	9850	684,92	76,626	536,99
5940	9900	688,40	77,015	539,72
5970	9950	691,88	77,404	542,45
6000	10000	695,35	77,793	545,17

APÊNDICE – B: Correlação entre o número de animais, VPL, TIR e Emissões evitadas de GEE

Número de cabeças de Bovinos	Número de cabeças de Suínos	VPL	TIR	LCOE	Emissões evitadas de GEE
[Unidades]	[Unidades]	(US\$)	%	(US\$/kWh)	(tCO ₂ eq/MWh)
<i>Incremento</i>	<i>Incremento</i>				
<i>30</i>	<i>50</i>				
30	50	\$-51.604,56	-	\$1,92	-0,59
60	100	\$-50.457,87	-	\$0,98	-1,18
90	150	\$-49.311,19	-	\$0,67	-1,78
120	200	\$-48.164,51	-	\$0,52	-2,37
150	250	\$-47.017,83	-	\$0,43	-2,96
180	300	\$-45.871,14	-	\$0,36	-3,55
210	350	\$-44.724,46	-	\$0,32	-4,14
240	400	\$-43.577,78	-	\$0,29	-4,74
270	450	\$-42.431,10	-24,41%	\$0,26	-5,33
300	500	\$-41.284,42	-19,44%	\$0,24	-5,92
330	550	\$-40.137,73	-16,38%	\$0,22	-6,51
360	600	\$-38.991,05	-14,13%	\$0,21	-7,10
390	650	\$-37.844,37	-12,34%	\$0,20	-7,70
420	700	\$-36.697,69	-10,85%	\$0,19	-8,29
450	750	\$-35.551,00	-9,57%	\$0,18	-8,88
480	800	\$-34.404,32	-8,44%	\$0,17	-9,47
510	850	\$-33.257,64	-7,44%	\$0,16	-10,06
540	900	\$-32.110,96	-6,54%	\$0,16	-10,66
570	950	\$-30.964,28	-5,72%	\$0,15	-11,25
600	1000	\$-29.817,59	-4,96%	\$0,15	-11,84
630	1050	\$-28.670,91	-4,26%	\$0,14	-12,43
660	1100	\$-27.524,23	-3,62%	\$0,14	-13,02
690	1150	\$-26.377,55	-3,01%	\$0,13	-13,62
720	1200	\$-25.230,86	-2,45%	\$0,13	-14,21
750	1250	\$-24.084,18	-1,91%	\$0,13	-14,80
780	1300	\$-22.937,50	-1,41%	\$0,12	-15,39
810	1350	\$-21.790,82	-0,94%	\$0,12	-15,98
840	1400	\$-20.644,14	-0,49%	\$0,12	-16,57
870	1450	\$-19.497,45	-0,06%	\$0,12	-17,17
900	1500	\$-18.350,77	0,34%	\$0,11	-17,76
930	1550	\$-17.204,09	0,73%	\$0,11	-18,35
960	1600	\$-16.057,41	1,10%	\$0,11	-18,94

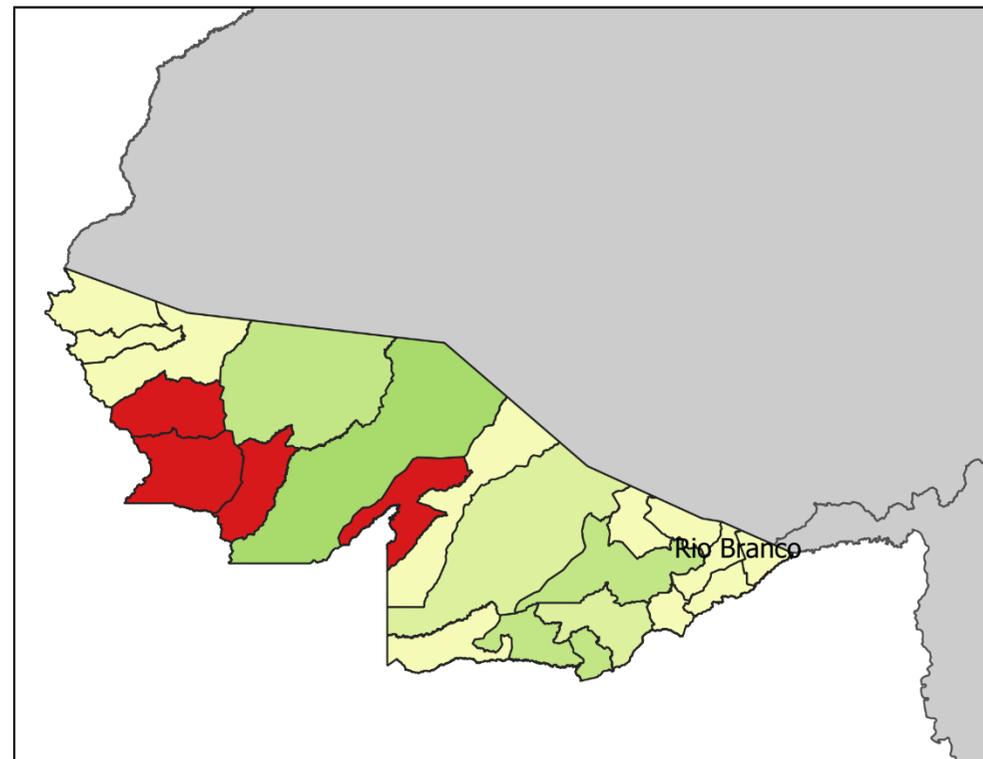
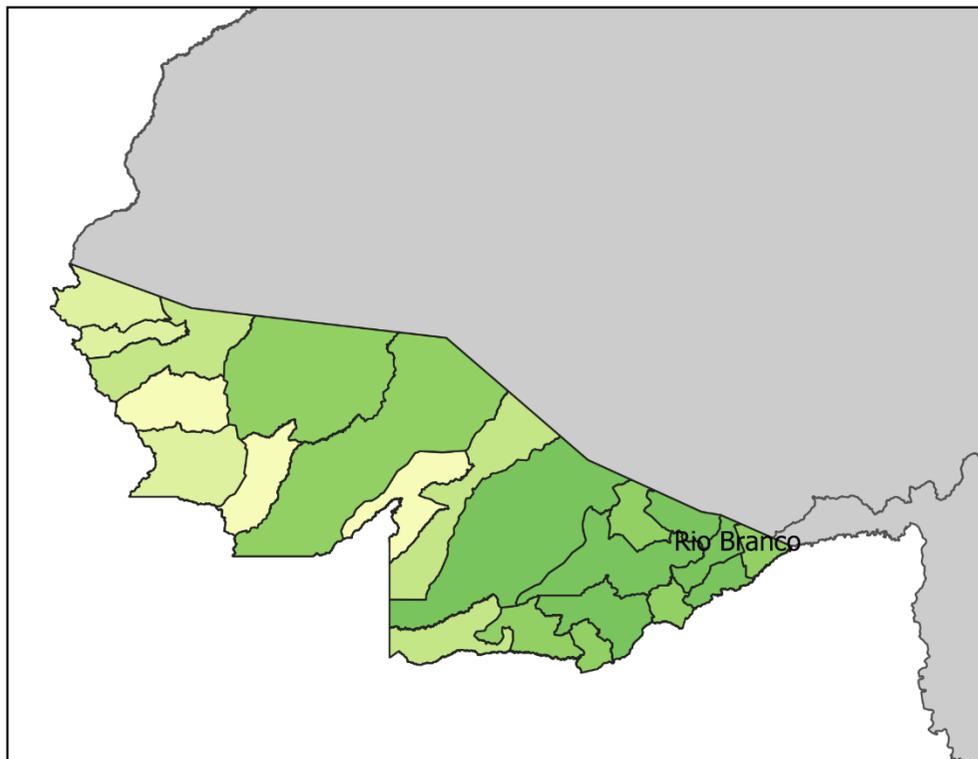
990	1650	\$-14.910,72	1,46%	\$0,11	-19,53
1020	1700	\$-13.764,04	1,79%	\$0,11	-20,13
1050	1750	\$-12.617,36	2,12%	\$0,11	-20,72
1080	1800	\$-11.470,68	2,43%	\$0,10	-21,31
1110	1850	\$-10.324,00	2,73%	\$0,10	-21,90
1140	1900	\$-9.177,31	3,02%	\$0,10	-22,49
1170	1950	\$-8.030,63	3,30%	\$0,10	-23,09
1200	2000	\$-6.883,95	3,57%	\$0,10	-23,68
1230	2050	\$-5.737,27	3,83%	\$0,10	-24,27
1260	2100	\$-4.590,58	4,08%	\$0,10	-24,86
1290	2150	\$-3.443,90	4,32%	\$0,10	-25,45
1320	2200	\$-2.297,22	4,55%	\$0,09	-26,05
1350	2250	\$-1.150,54	4,78%	\$0,09	-26,64
1380	2300	\$-3,86	5,00%	\$0,09	-27,23
1410	2350	\$1.142,83	5,21%	\$0,09	-27,82
1440	2400	\$2.289,51	5,42%	\$0,09	-28,41
1470	2450	\$3.436,19	5,62%	\$0,09	-29,01
1500	2500	\$4.582,87	5,81%	\$0,09	-29,60
1530	2550	\$5.729,56	6,00%	\$0,09	-30,19
1560	2600	\$6.876,24	6,19%	\$0,09	-30,78
1590	2650	\$8.022,92	6,36%	\$0,09	-31,37
1620	2700	\$9.169,60	6,54%	\$0,09	-31,97
1650	2750	\$10.316,29	6,71%	\$0,09	-32,56
1680	2800	\$11.462,97	6,87%	\$0,09	-33,15
1710	2850	\$12.609,65	7,03%	\$0,08	-33,74
1740	2900	\$13.756,33	7,19%	\$0,08	-34,33
1770	2950	\$14.903,01	7,34%	\$0,08	-34,93
1800	3000	\$16.049,70	7,49%	\$0,08	-35,52
1830	3050	\$17.196,38	7,63%	\$0,08	-36,11
1860	3100	\$18.343,06	7,77%	\$0,08	-36,70
1890	3150	\$19.489,74	7,91%	\$0,08	-37,29
1920	3200	\$20.636,43	8,05%	\$0,08	-37,89
1950	3250	\$21.783,11	8,18%	\$0,08	-38,48
1980	3300	\$22.929,79	8,31%	\$0,08	-39,07
2010	3350	\$24.076,47	8,43%	\$0,08	-39,66
2040	3400	\$25.223,15	8,56%	\$0,08	-40,25
2070	3450	\$26.369,84	8,68%	\$0,08	-40,85
2100	3500	\$27.516,52	8,80%	\$0,08	-41,44
2130	3550	\$28.663,20	8,91%	\$0,08	-42,03
2160	3600	\$29.809,88	9,02%	\$0,08	-42,62
2190	3650	\$30.956,57	9,13%	\$0,08	-43,21
2220	3700	\$32.103,25	9,24%	\$0,08	-43,80

2250	3750	\$33.249,93	9,35%	\$0,08	-44,40
2280	3800	\$34.396,61	9,45%	\$0,08	-44,99
2310	3850	\$35.543,29	9,55%	\$0,08	-45,58
2340	3900	\$36.689,98	9,65%	\$0,08	-46,17
2370	3950	\$37.836,66	9,75%	\$0,08	-46,76
2400	4000	\$38.983,34	9,85%	\$0,08	-47,36
2430	4050	\$40.130,02	9,94%	\$0,08	-47,95
2460	4100	\$41.276,71	10,03%	\$0,07	-48,54
2490	4150	\$42.423,39	10,12%	\$0,07	-49,13
2520	4200	\$43.570,07	10,21%	\$0,07	-49,72
2550	4250	\$44.716,75	10,30%	\$0,07	-50,32
2580	4300	\$45.863,43	10,39%	\$0,07	-50,91
2610	4350	\$47.010,12	10,47%	\$0,07	-51,50
2640	4400	\$48.156,80	10,55%	\$0,07	-52,09
2670	4450	\$49.303,48	10,63%	\$0,07	-52,68
2700	4500	\$50.450,16	10,71%	\$0,07	-53,28
2730	4550	\$51.596,85	10,79%	\$0,07	-53,87
2760	4600	\$52.743,53	10,87%	\$0,07	-54,46
2790	4650	\$53.890,21	10,95%	\$0,07	-55,05
2820	4700	\$55.036,89	11,02%	\$0,07	-55,64
2850	4750	\$56.183,57	11,09%	\$0,07	-56,24
2880	4800	\$57.330,26	11,16%	\$0,07	-56,83
2910	4850	\$58.476,94	11,24%	\$0,07	-57,42
2940	4900	\$59.623,62	11,31%	\$0,07	-58,01
2970	4950	\$60.770,30	11,37%	\$0,07	-58,60
3000	5000	\$61.916,99	11,44%	\$0,07	-59,20
3030	5050	\$63.063,67	11,51%	\$0,07	-59,79
3060	5100	\$64.210,35	11,57%	\$0,07	-60,38
3090	5150	\$65.357,03	11,64%	\$0,07	-60,97
3120	5200	\$66.503,71	11,70%	\$0,07	-61,56
3150	5250	\$67.650,40	11,76%	\$0,07	-62,16
3180	5300	\$68.797,08	11,82%	\$0,07	-62,75
3210	5350	\$69.943,76	11,89%	\$0,07	-63,34
3240	5400	\$71.090,44	11,94%	\$0,07	-63,93
3270	5450	\$72.237,13	12,00%	\$0,07	-64,52
3300	5500	\$73.383,81	12,06%	\$0,07	-65,12
3330	5550	\$74.530,49	12,12%	\$0,07	-65,71
3360	5600	\$75.677,17	12,17%	\$0,07	-66,30
3390	5650	\$76.823,86	12,23%	\$0,07	-66,89
3420	5700	\$77.970,54	12,28%	\$0,07	-67,48
3450	5750	\$79.117,22	12,34%	\$0,07	-68,08
3480	5800	\$80.263,90	12,39%	\$0,07	-68,67

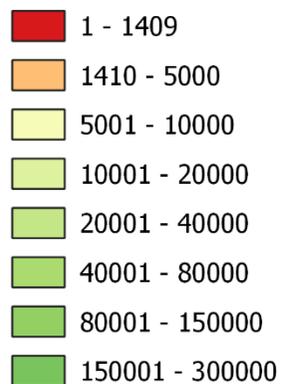
3510	5850	\$81.410,58	12,44%	\$0,07	-69,26
3540	5900	\$82.557,27	12,49%	\$0,07	-69,85
3570	5950	\$83.703,95	12,55%	\$0,07	-70,44
3600	6000	\$84.850,63	12,60%	\$0,07	-71,03
3630	6050	\$85.997,31	12,65%	\$0,07	-71,63
3660	6100	\$87.144,00	12,69%	\$0,07	-72,22
3690	6150	\$88.290,68	12,74%	\$0,07	-72,81
3720	6200	\$89.437,36	12,79%	\$0,07	-73,40
3750	6250	\$90.584,04	12,84%	\$0,07	-73,99
3780	6300	\$91.730,72	12,88%	\$0,07	-74,59
3810	6350	\$92.877,41	12,93%	\$0,07	-75,18
3840	6400	\$94.024,09	12,97%	\$0,07	-75,77
3870	6450	\$95.170,77	13,02%	\$0,07	-76,36
3900	6500	\$96.317,45	13,06%	\$0,07	-76,95
3930	6550	\$97.464,14	13,11%	\$0,07	-77,55
3960	6600	\$98.610,82	13,15%	\$0,07	-78,14
3990	6650	\$99.757,50	13,19%	\$0,07	-78,73
4020	6700	\$100.904,18	13,23%	\$0,07	-79,32
4050	6750	\$102.050,86	13,27%	\$0,07	-79,91
4080	6800	\$103.197,55	13,31%	\$0,07	-80,51
4110	6850	\$104.344,23	13,35%	\$0,07	-81,10
4140	6900	\$105.490,91	13,39%	\$0,07	-81,69
4170	6950	\$106.637,59	13,43%	\$0,07	-82,28
4200	7000	\$107.784,28	13,47%	\$0,07	-82,87
4230	7050	\$108.930,96	13,51%	\$0,07	-83,47
4260	7100	\$110.077,64	13,55%	\$0,07	-84,06
4290	7150	\$111.224,32	13,59%	\$0,07	-84,65
4320	7200	\$112.371,00	13,62%	\$0,07	-85,24
4350	7250	\$113.517,69	13,66%	\$0,07	-85,83
4380	7300	\$114.664,37	13,70%	\$0,06	-86,43
4410	7350	\$115.811,05	13,73%	\$0,06	-87,02
4440	7400	\$116.957,73	13,77%	\$0,06	-87,61
4470	7450	\$118.104,42	13,80%	\$0,06	-88,20
4500	7500	\$119.251,10	13,84%	\$0,06	-88,79
4530	7550	\$120.397,78	13,87%	\$0,06	-89,39
4560	7600	\$121.544,46	13,90%	\$0,06	-89,98
4590	7650	\$122.691,14	13,94%	\$0,06	-90,57
4620	7700	\$123.837,83	13,97%	\$0,06	-91,16
4650	7750	\$124.984,51	14,00%	\$0,06	-91,75
4680	7800	\$126.131,19	14,04%	\$0,06	-92,35
4710	7850	\$127.277,87	14,07%	\$0,06	-92,94
4740	7900	\$128.424,56	14,10%	\$0,06	-93,53

4770	7950	\$129.571,24	14,13%	\$0,06	-94,12
4800	8000	\$130.717,92	14,16%	\$0,06	-94,71
4830	8050	\$131.864,60	14,19%	\$0,06	-95,31
4860	8100	\$133.011,29	14,22%	\$0,06	-95,90
4890	8150	\$134.157,97	14,25%	\$0,06	-96,49
4920	8200	\$135.304,65	14,28%	\$0,06	-97,08
4950	8250	\$136.451,33	14,31%	\$0,06	-97,67
4980	8300	\$137.598,01	14,34%	\$0,06	-98,27
5010	8350	\$138.744,70	14,37%	\$0,06	-98,86
5040	8400	\$139.891,38	14,40%	\$0,06	-99,45
5070	8450	\$141.038,06	14,43%	\$0,06	-100,04
5100	8500	\$142.184,74	14,45%	\$0,06	-100,63
5130	8550	\$143.331,43	14,48%	\$0,06	-101,22
5160	8600	\$144.478,11	14,51%	\$0,06	-101,82
5190	8650	\$145.624,79	14,53%	\$0,06	-102,41
5220	8700	\$146.771,47	14,56%	\$0,06	-103,00
5250	8750	\$147.918,15	14,59%	\$0,06	-103,59
5280	8800	\$149.064,84	14,61%	\$0,06	-104,18
5310	8850	\$150.211,52	14,64%	\$0,06	-104,78
5340	8900	\$151.358,20	14,67%	\$0,06	-105,37
5370	8950	\$152.504,88	14,69%	\$0,06	-105,96
5400	9000	\$153.651,57	14,72%	\$0,06	-106,55
5430	9050	\$154.798,25	14,74%	\$0,06	-107,14
5460	9100	\$155.944,93	14,77%	\$0,06	-107,74
5490	9150	\$157.091,61	14,79%	\$0,06	-108,33
5520	9200	\$158.238,29	14,82%	\$0,06	-108,92
5550	9250	\$159.384,98	14,84%	\$0,06	-109,51
5580	9300	\$160.531,66	14,86%	\$0,06	-110,10
5610	9350	\$161.678,34	14,89%	\$0,06	-110,70
5640	9400	\$162.825,02	14,91%	\$0,06	-111,29
5670	9450	\$163.971,71	14,93%	\$0,06	-111,88
5700	9500	\$165.118,39	14,96%	\$0,06	-112,47
5730	9550	\$166.265,07	14,98%	\$0,06	-113,06
5760	9600	\$167.411,75	15,00%	\$0,06	-113,66
5790	9650	\$168.558,43	15,02%	\$0,06	-114,25
5820	9700	\$169.705,12	15,05%	\$0,06	-114,84
5850	9750	\$170.851,80	15,07%	\$0,06	-115,43
5880	9800	\$171.998,48	15,09%	\$0,06	-116,02
5910	9850	\$173.145,16	15,11%	\$0,06	-116,62
5940	9900	\$174.291,85	15,13%	\$0,06	-117,21
5970	9950	\$175.438,53	15,15%	\$0,06	-117,80
6000	10000	\$176.585,21	15,18%	\$0,06	-118,39

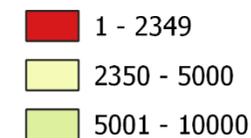
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Acre



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



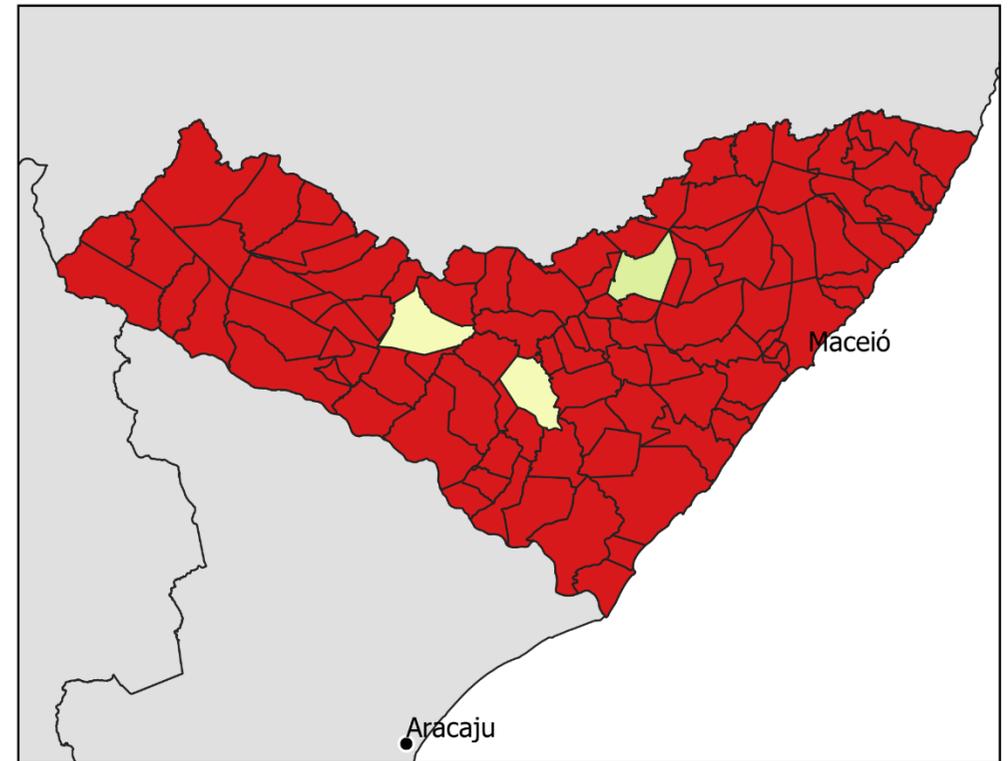
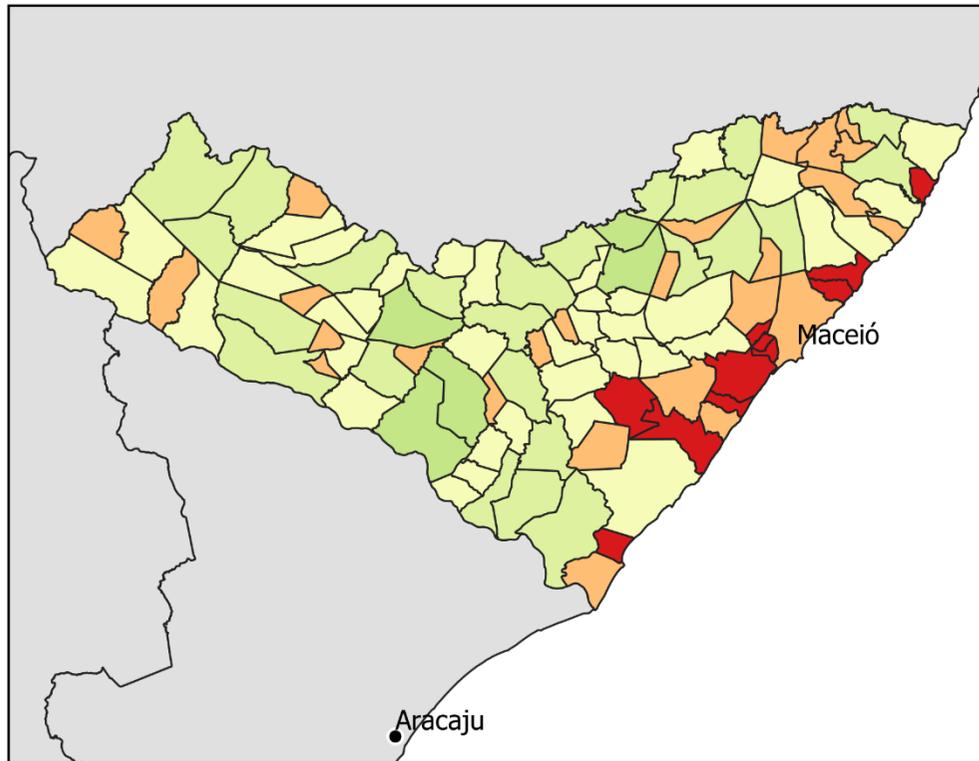
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

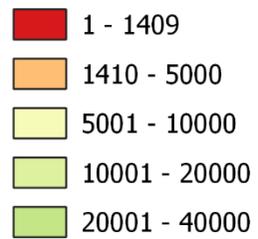
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

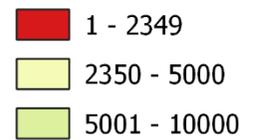
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Alagoas



Distribuição de bovinos



Distribuição suínos



0 50 100 km



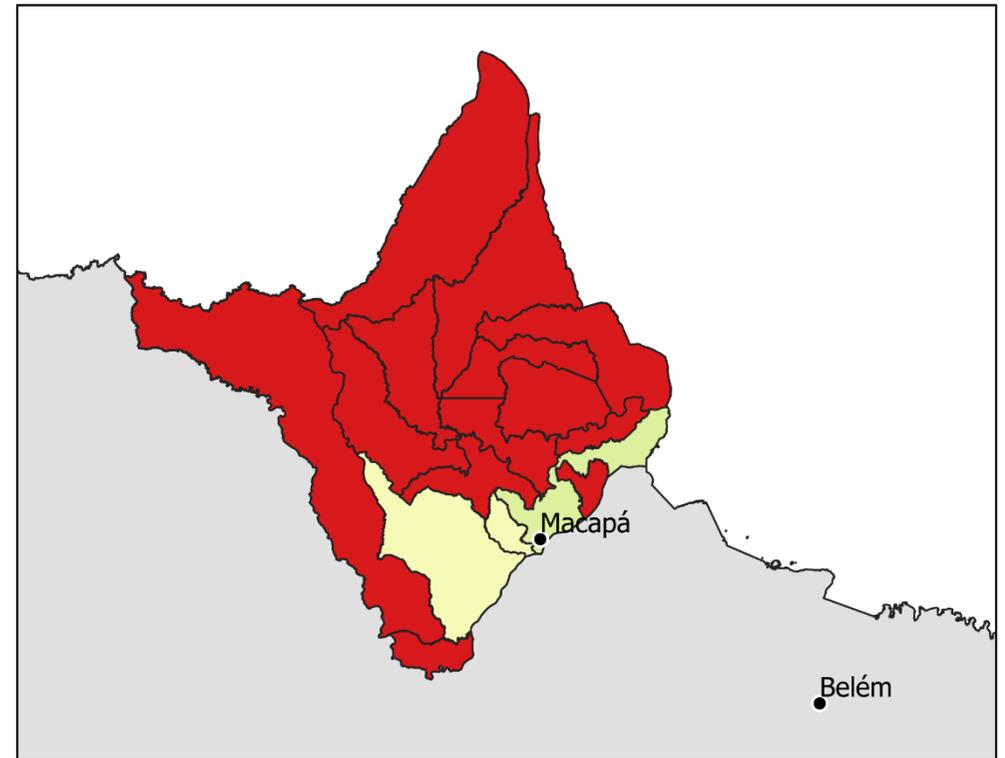
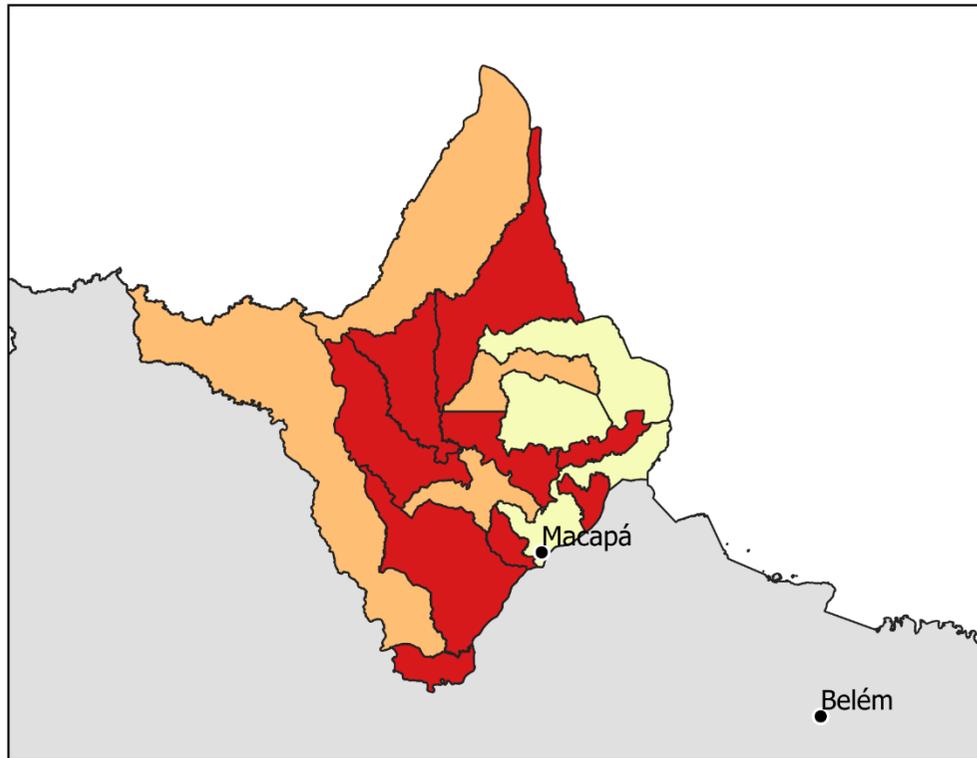
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

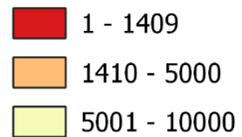
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

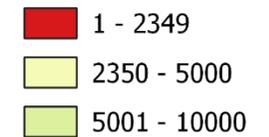
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Amapá



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos

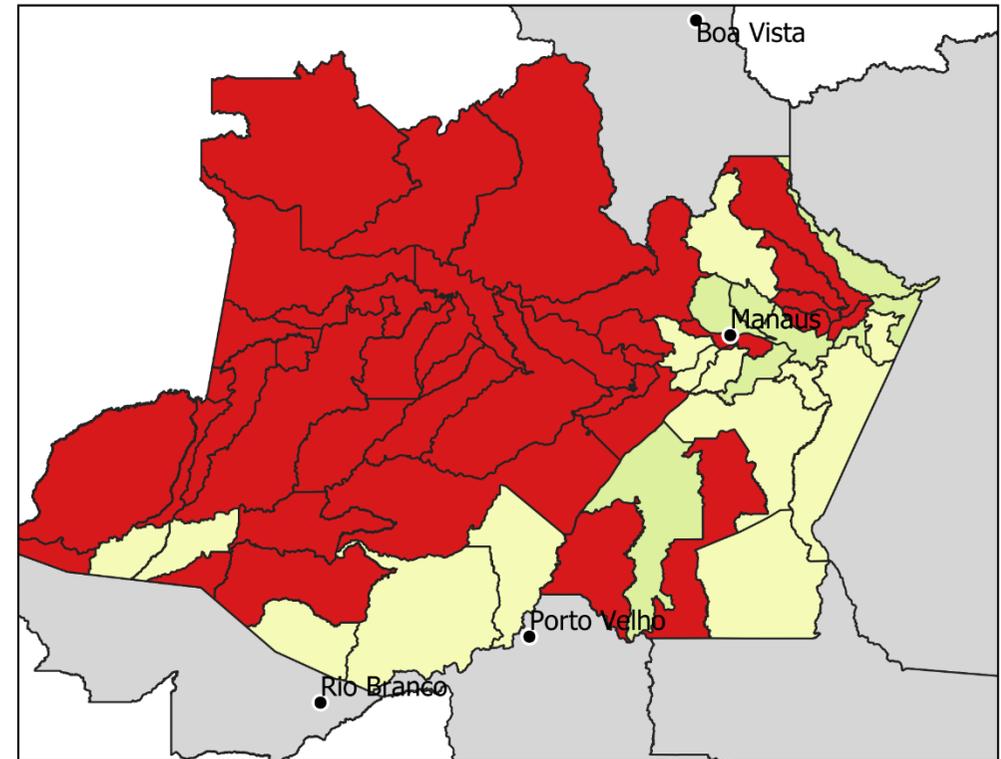
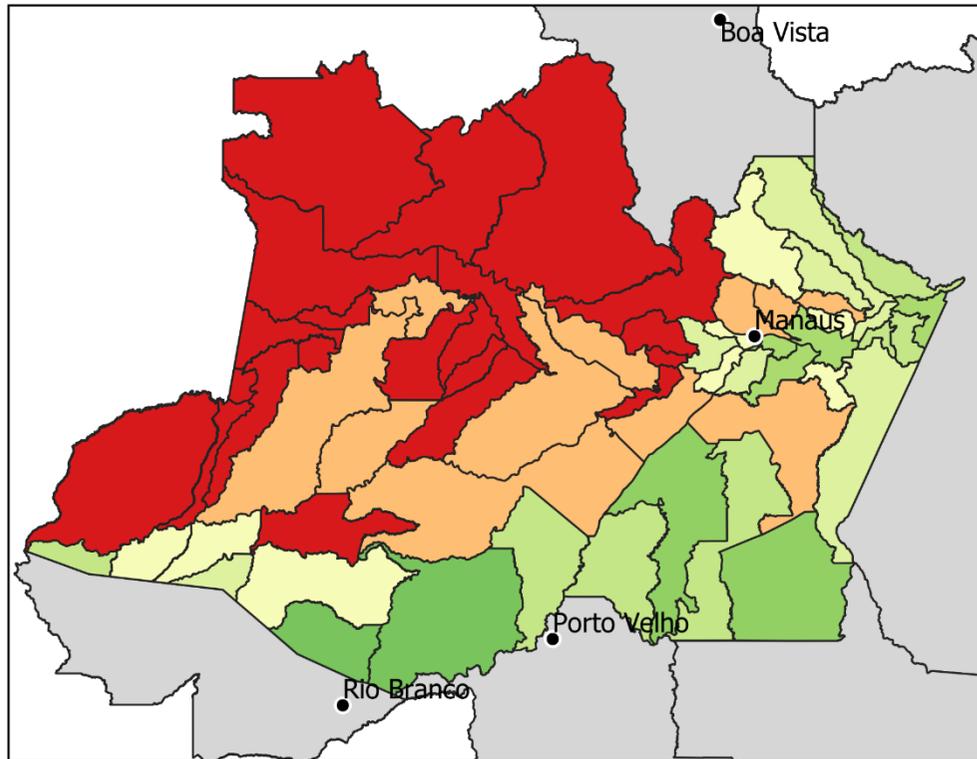


0 100 200 km

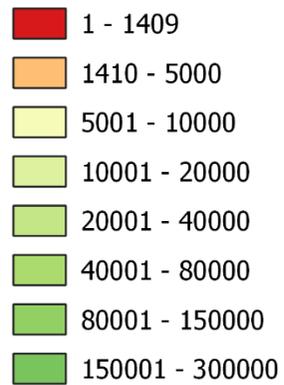


Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.
 Bases Cartográficas: IBGE, 2017.
 Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.
 Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

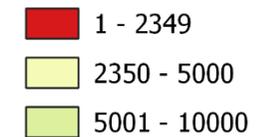
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Amazonas



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



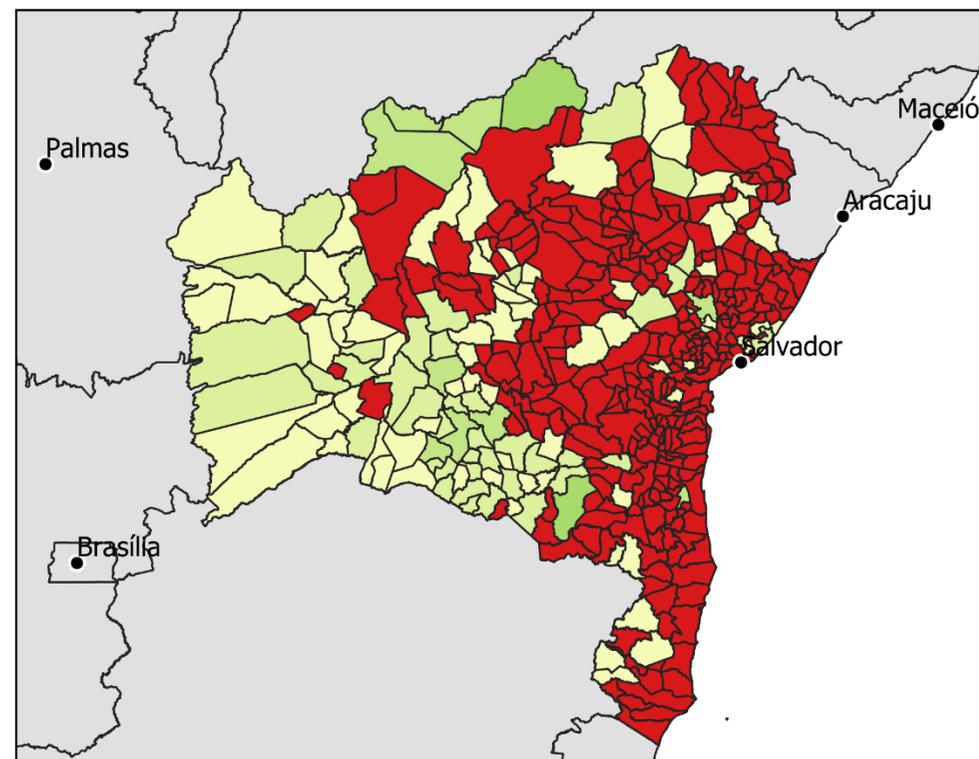
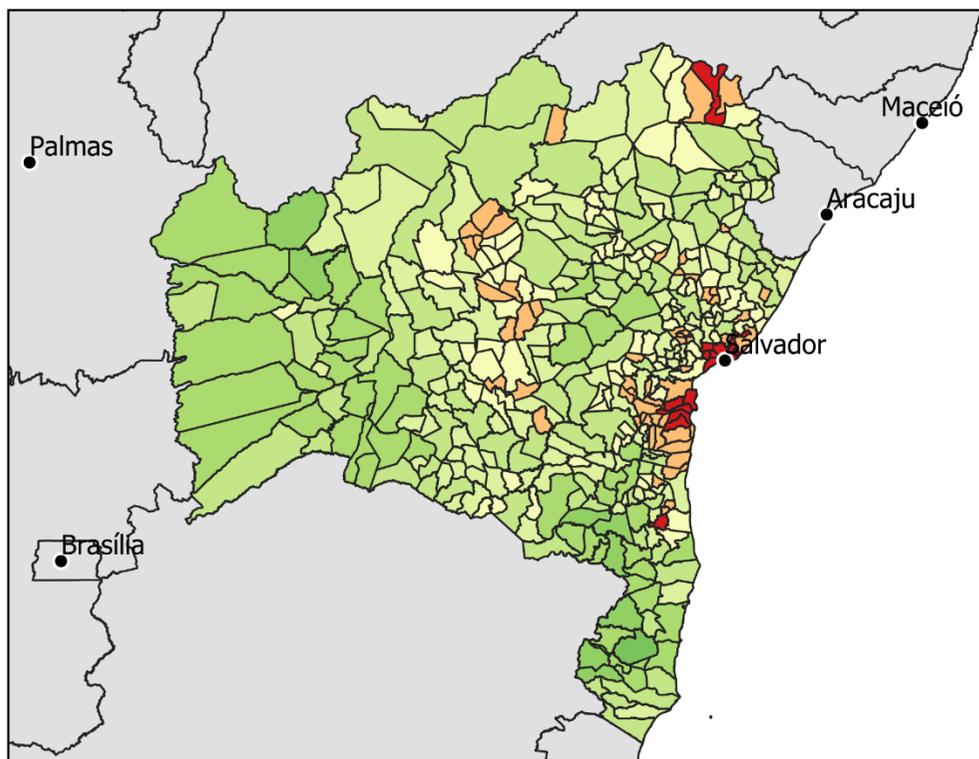
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

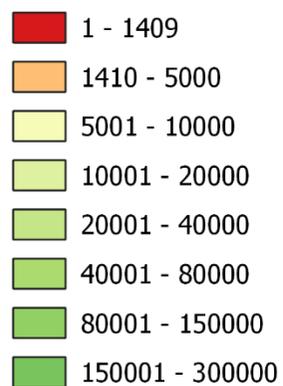
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

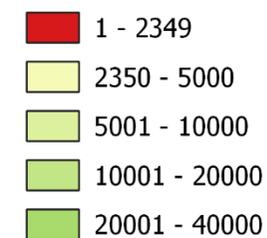
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno da Bahia



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



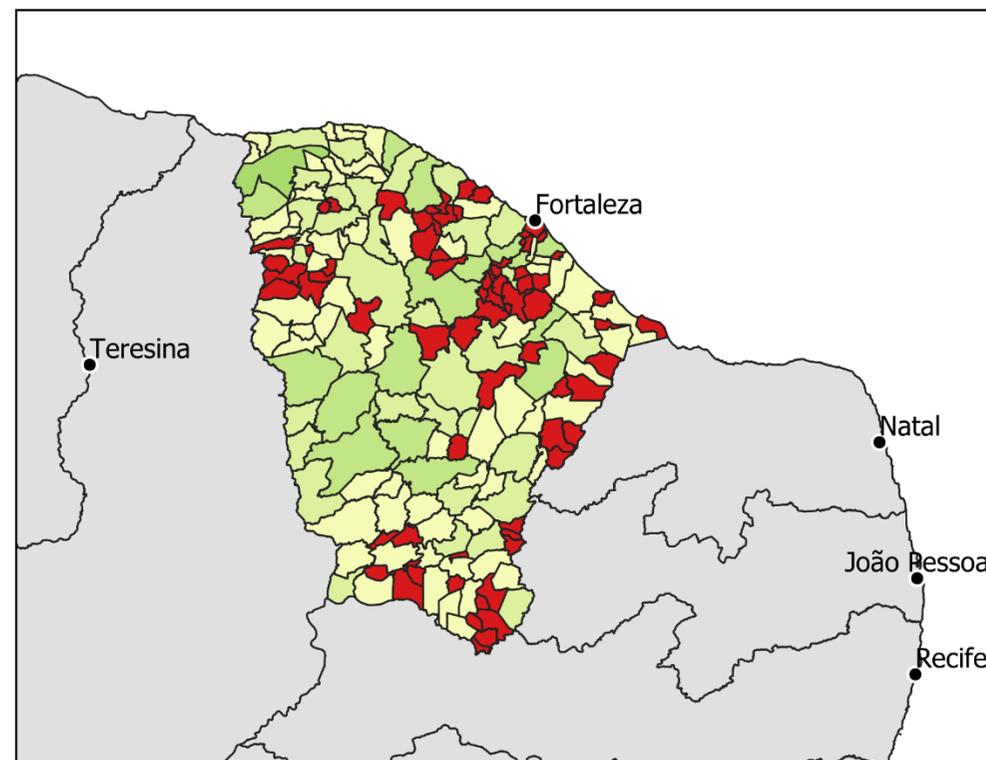
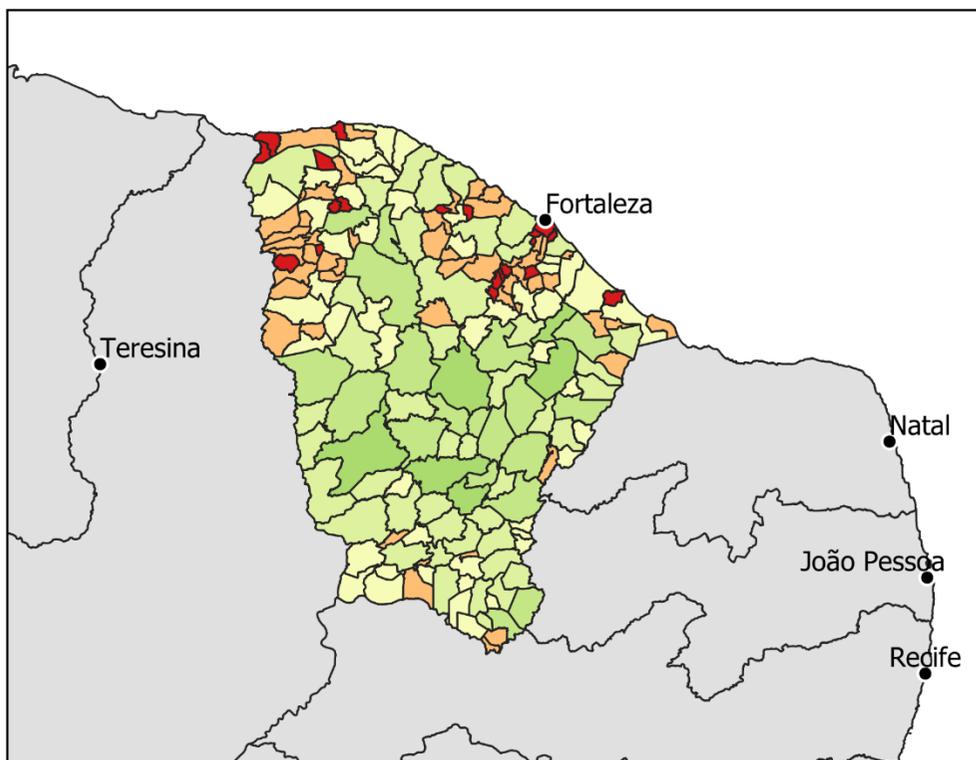
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

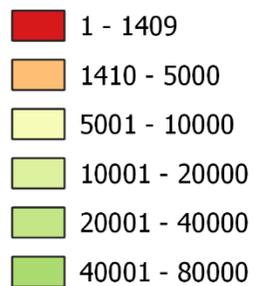
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

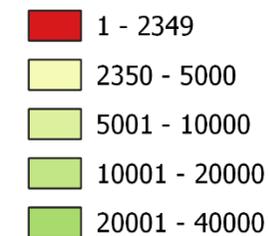
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Ceará



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

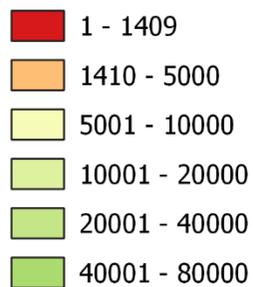
Bases de Dados Quantitativas: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

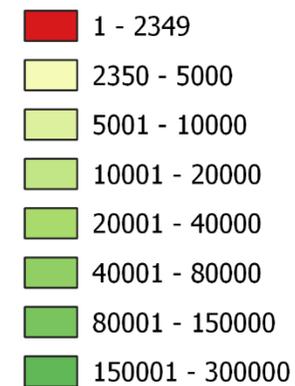
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Distrito Federal



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 20 40 km



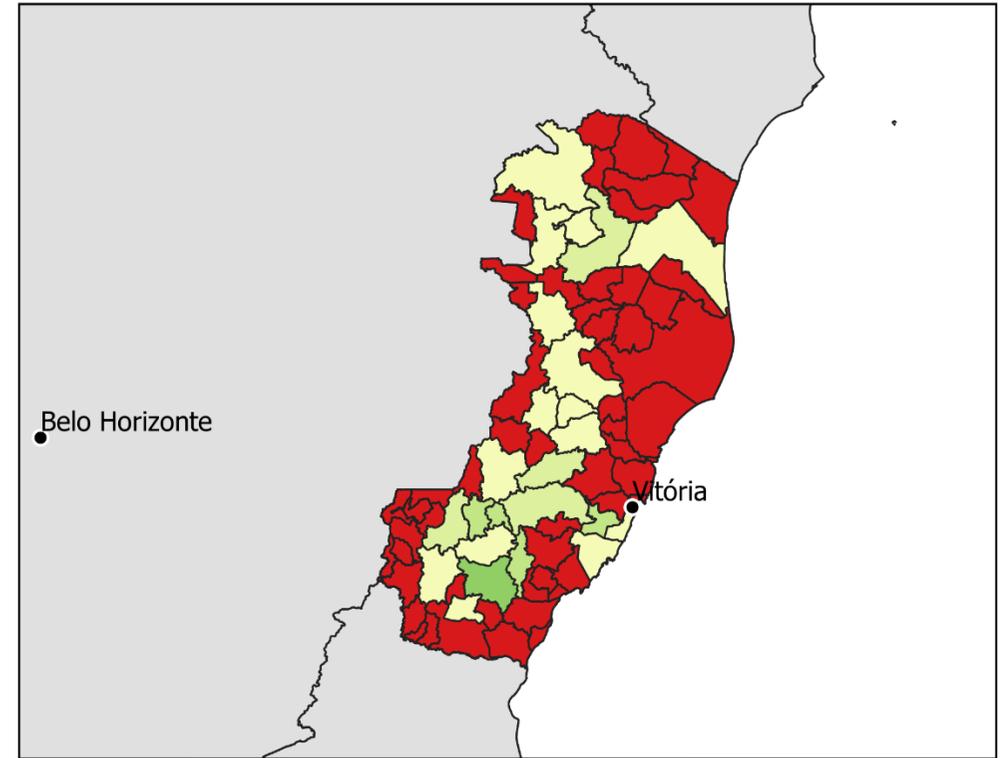
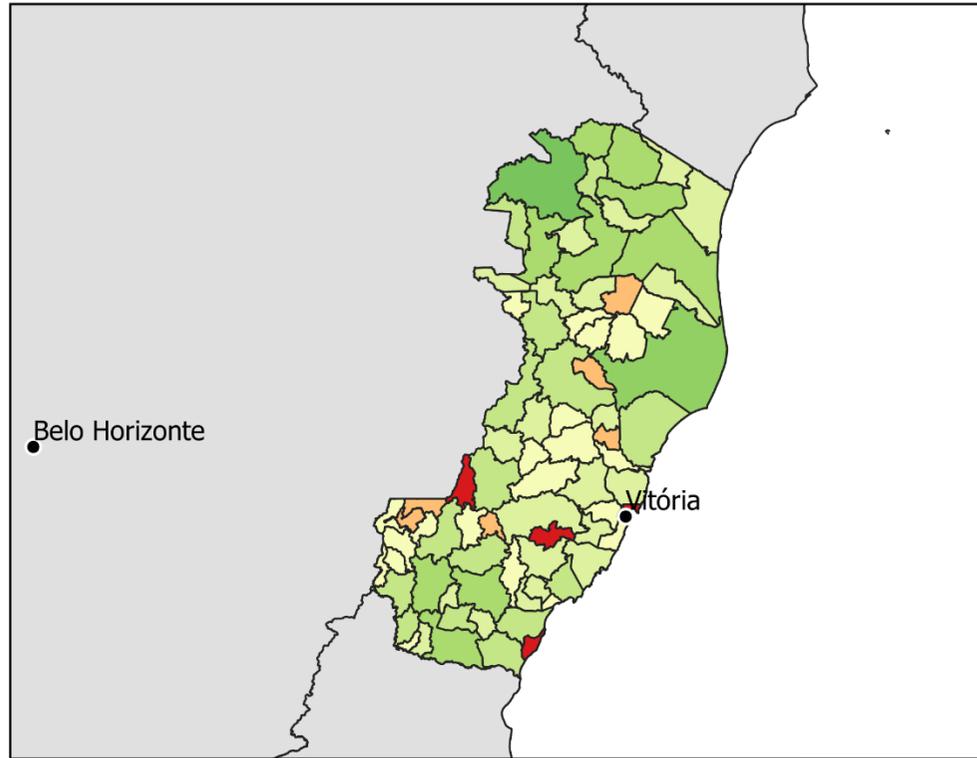
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

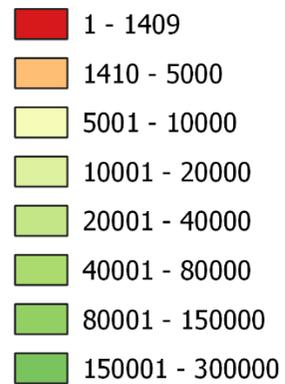
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

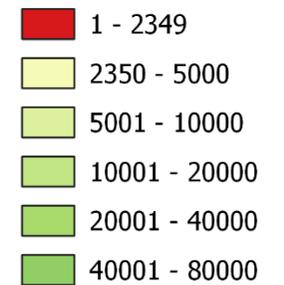
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Espírito Santo



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



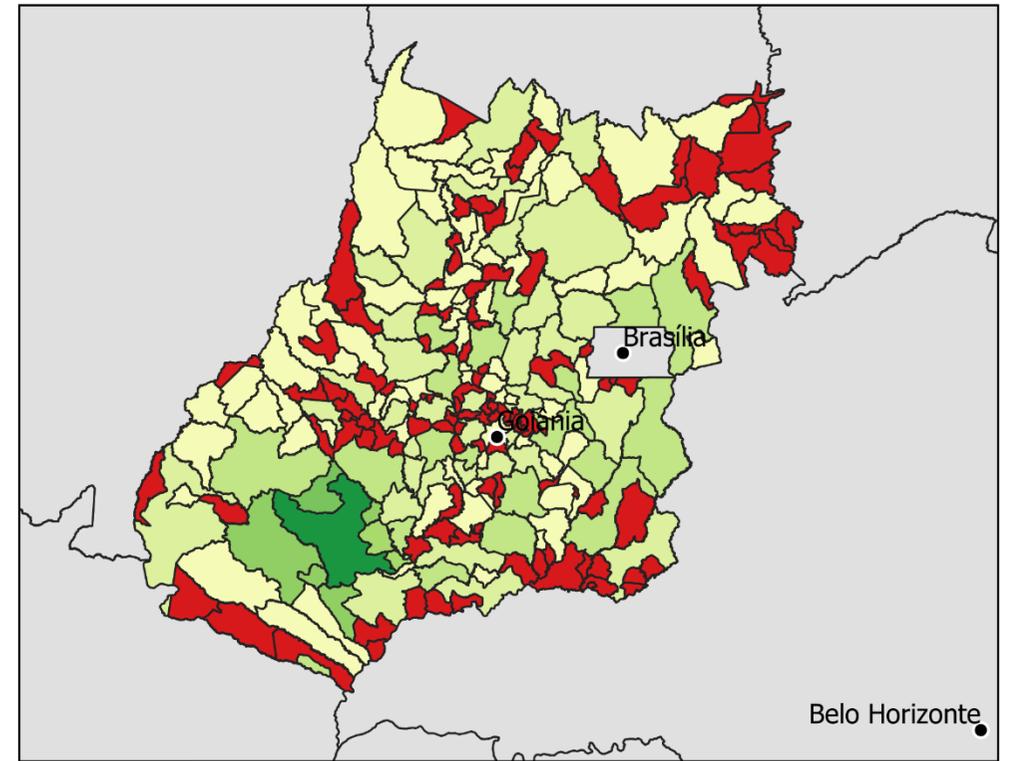
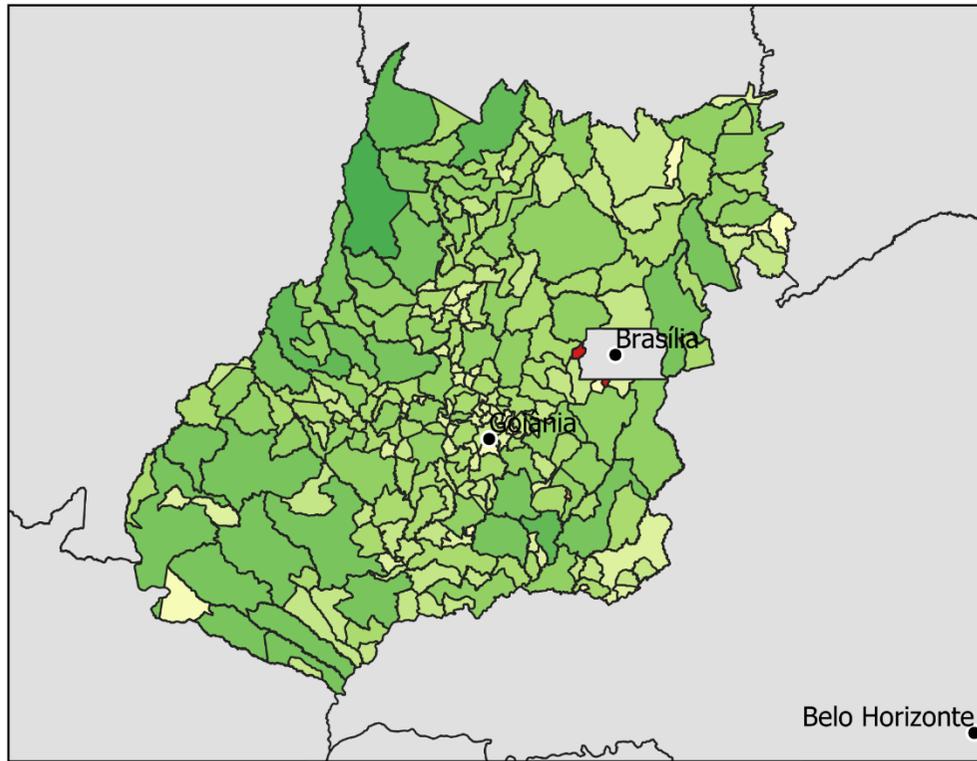
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

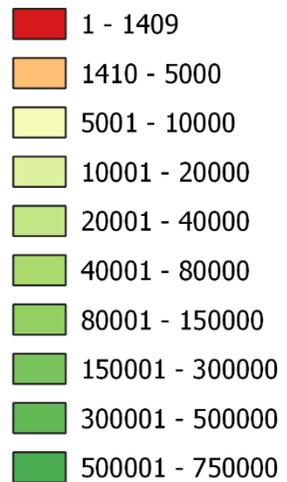
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Goiás



Distribuição de bovinos



0 100 200 km



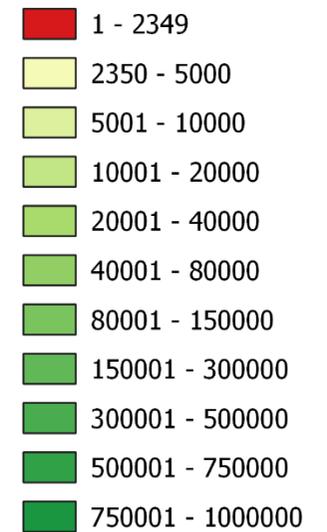
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

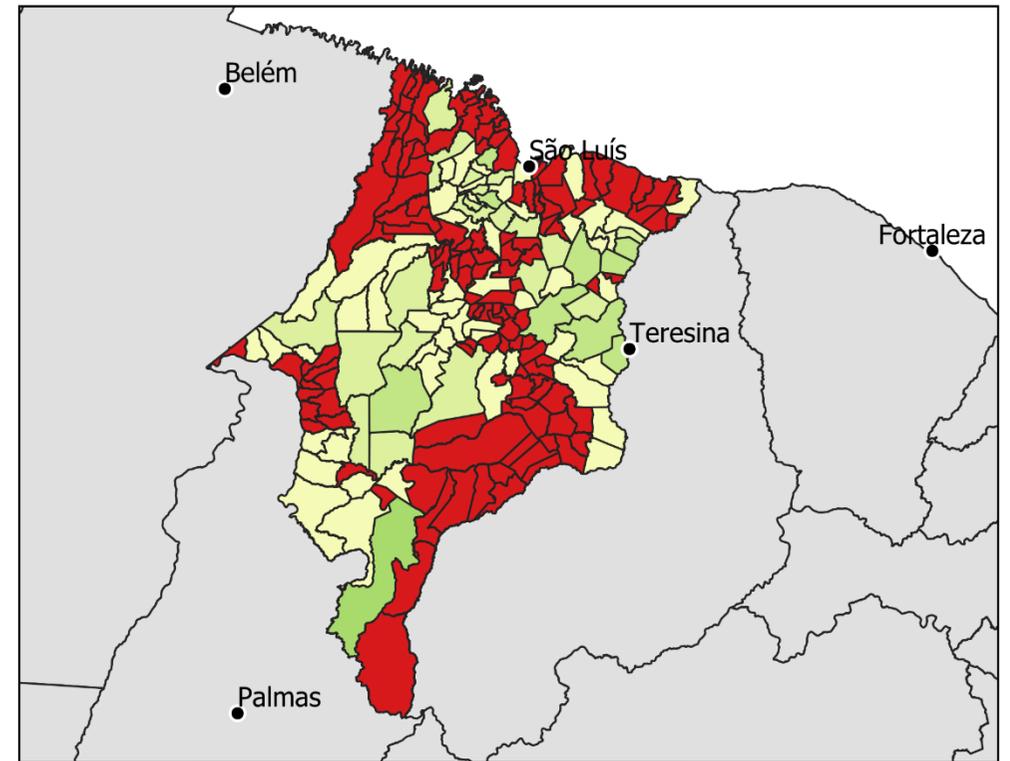
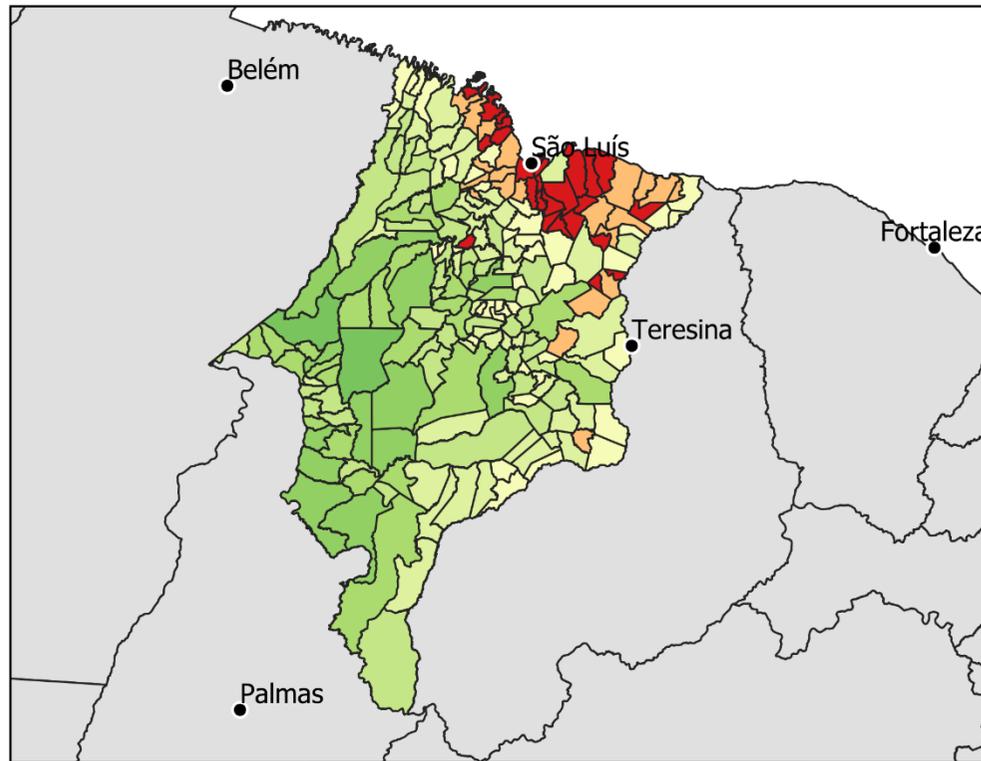
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

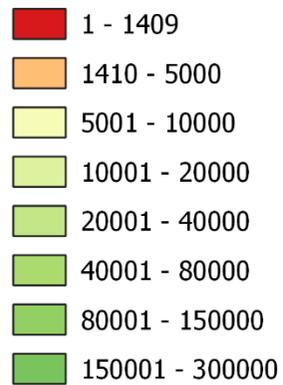
Distribuição de suínos



Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Maranhão



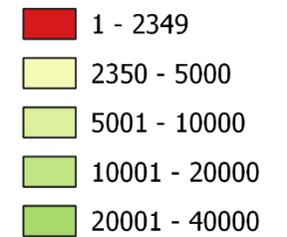
Distribuição de bovinos



0 200 400 km



Distribuição de suínos



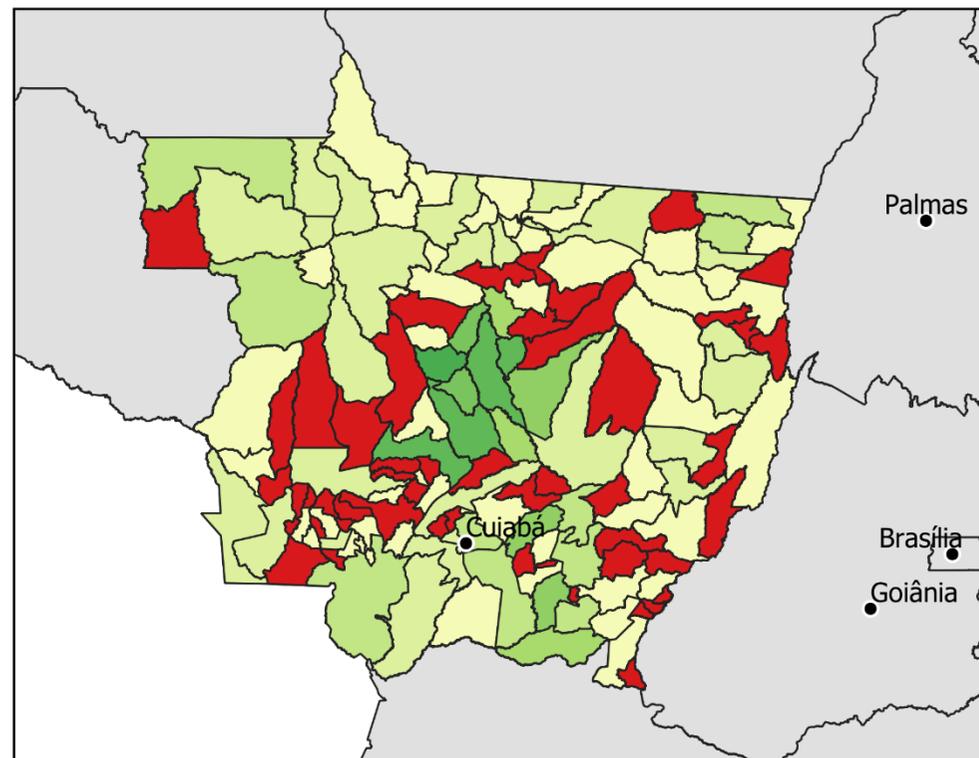
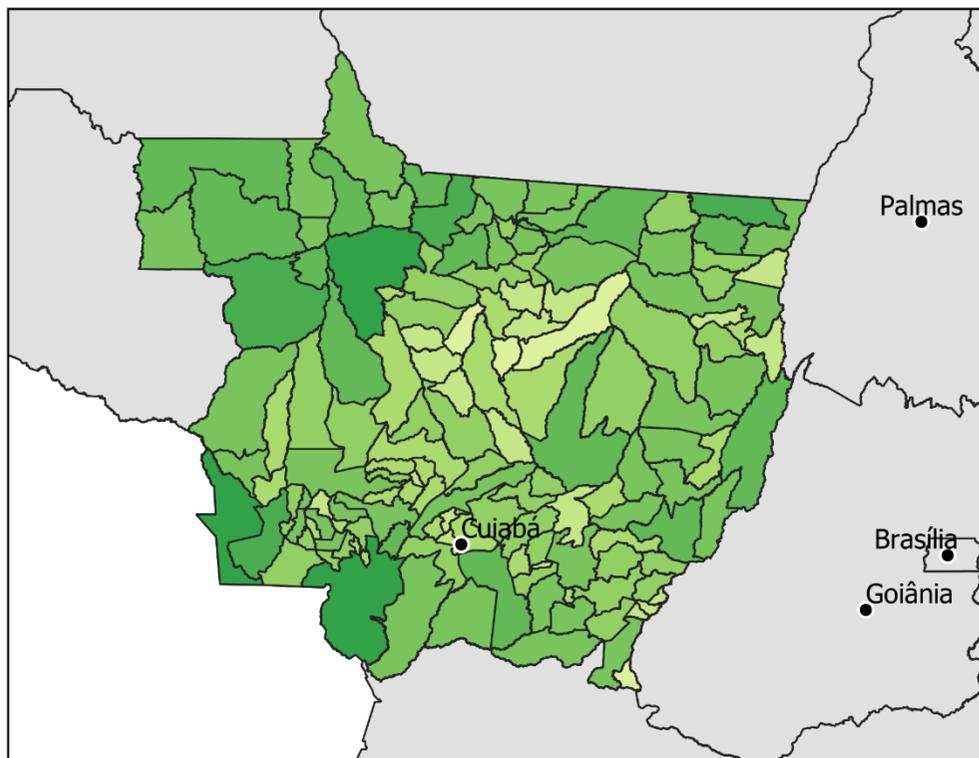
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

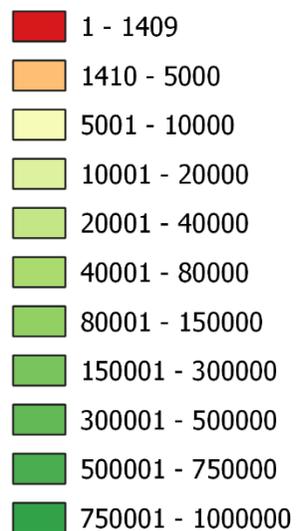
Bases de Dados Quantitativas: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

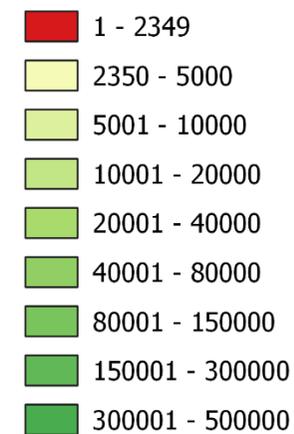
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Mato Grosso



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



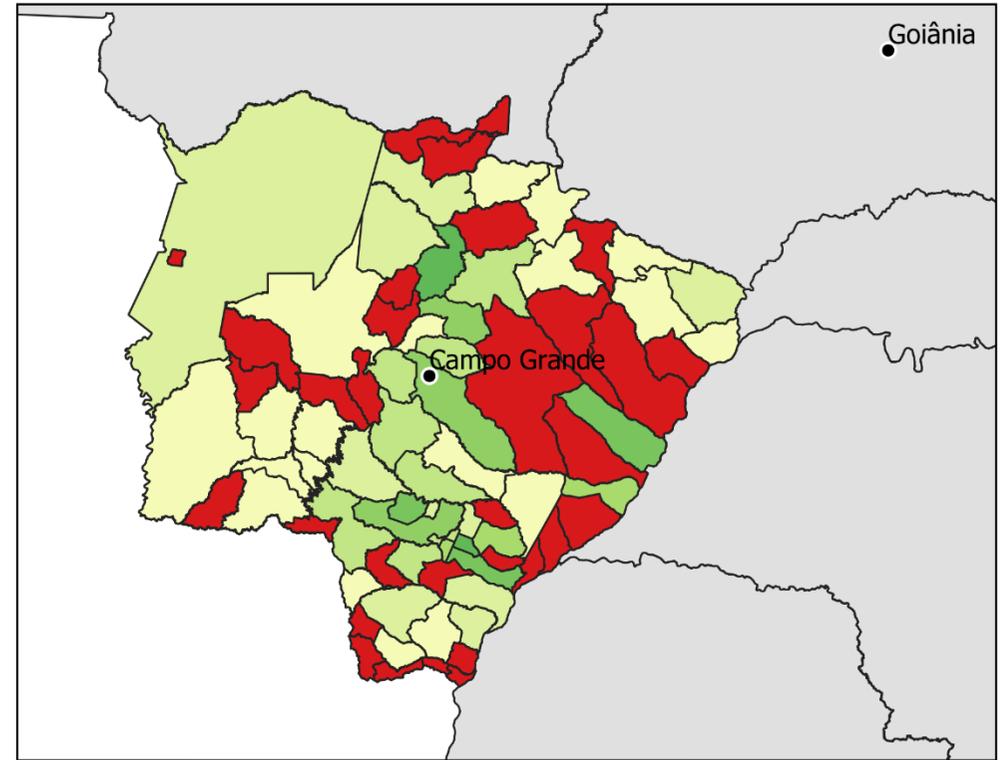
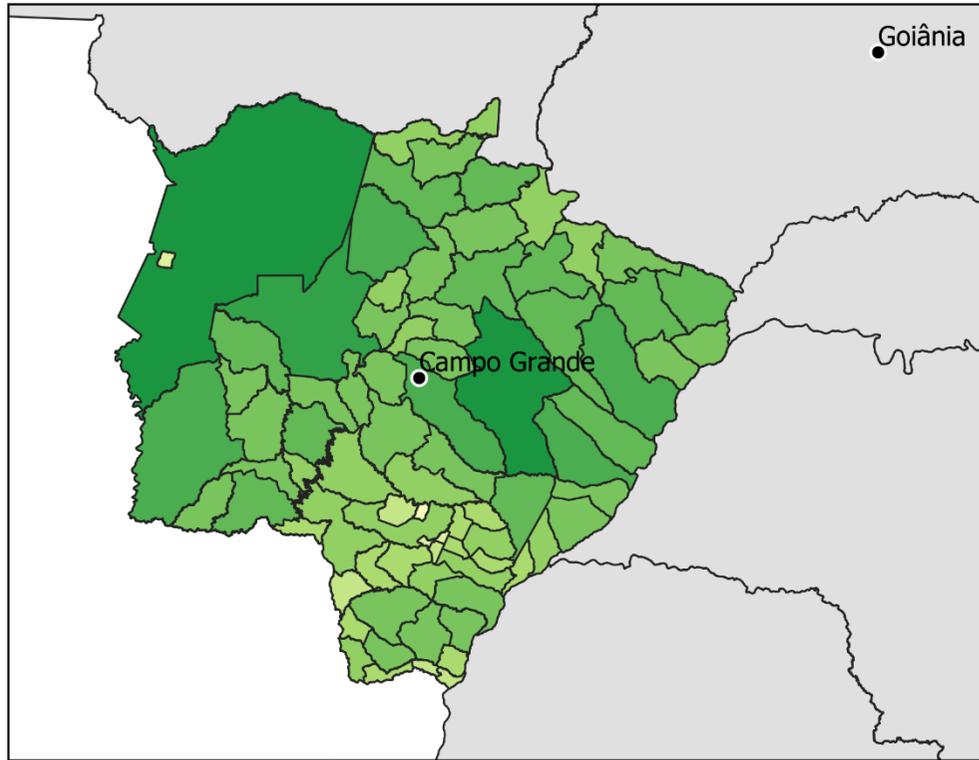
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

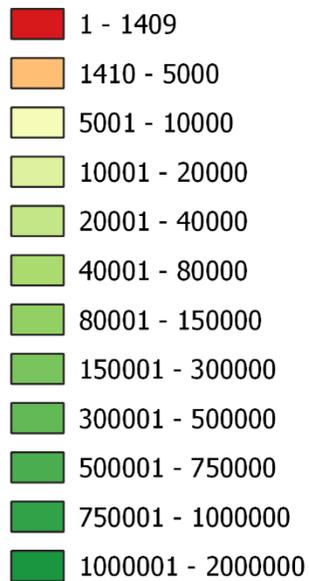
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

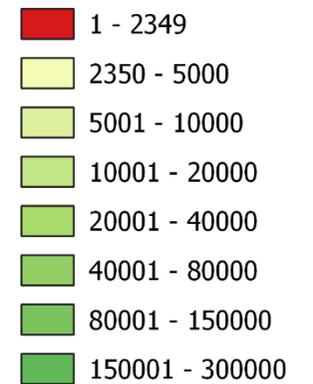
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Mato Grosso do Sul



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



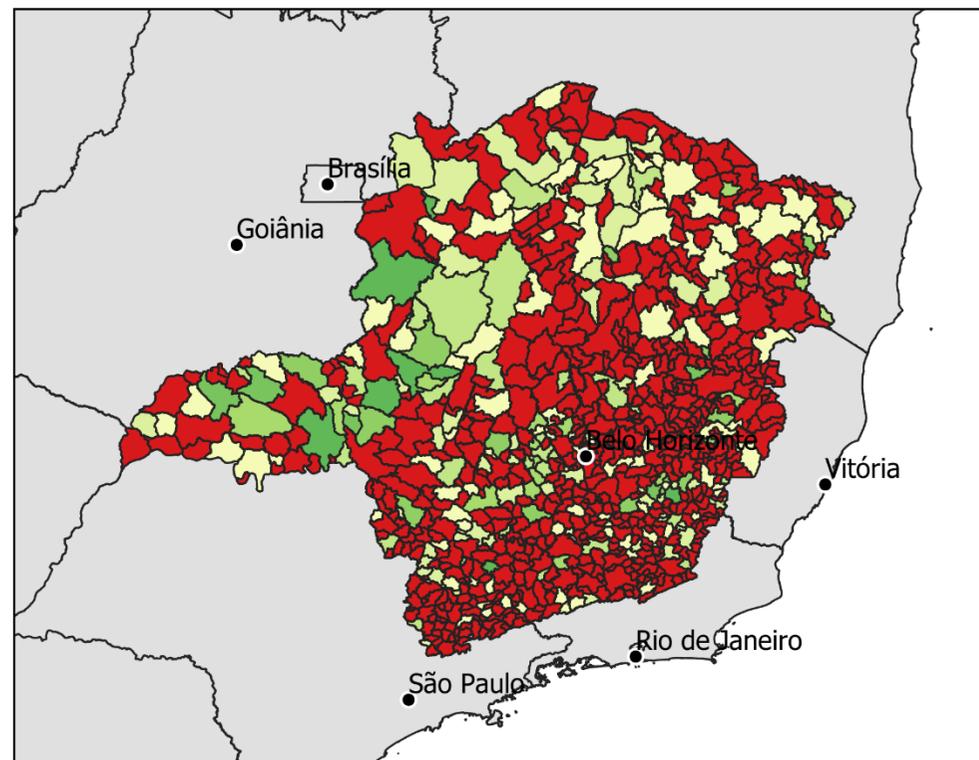
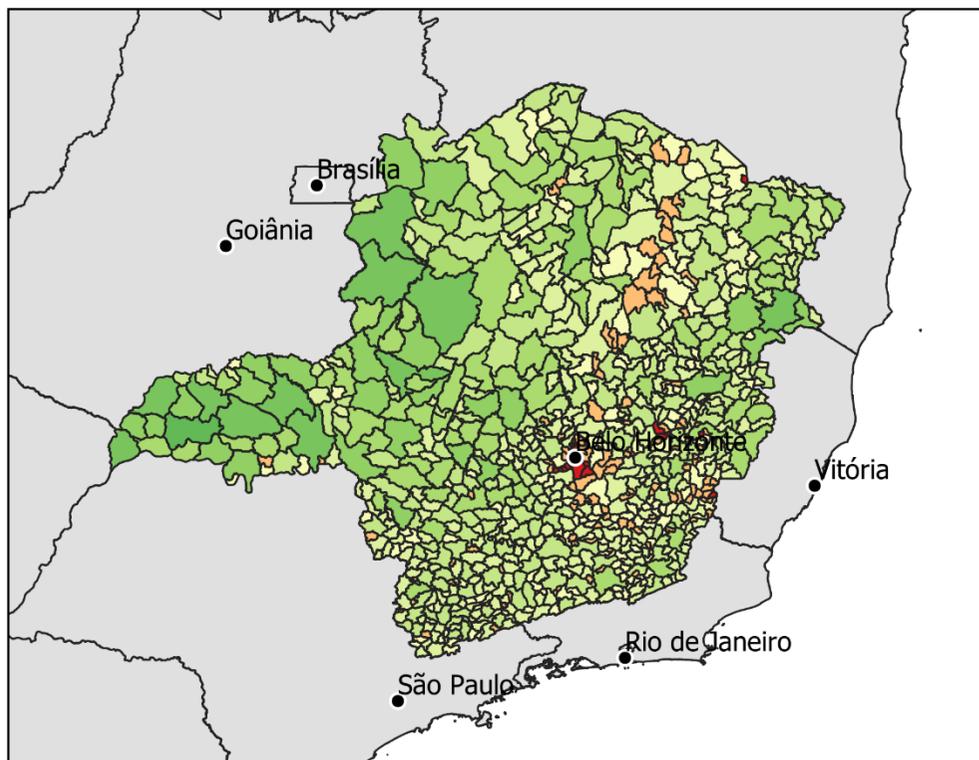
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

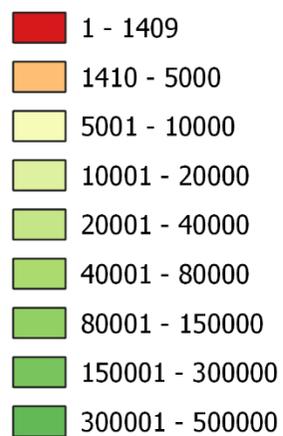
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Minas Gerais



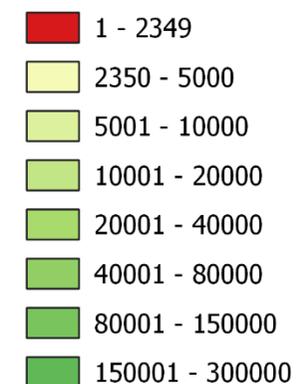
Distribuição de bovinos



0 200 400 km



Distribuição de suínos



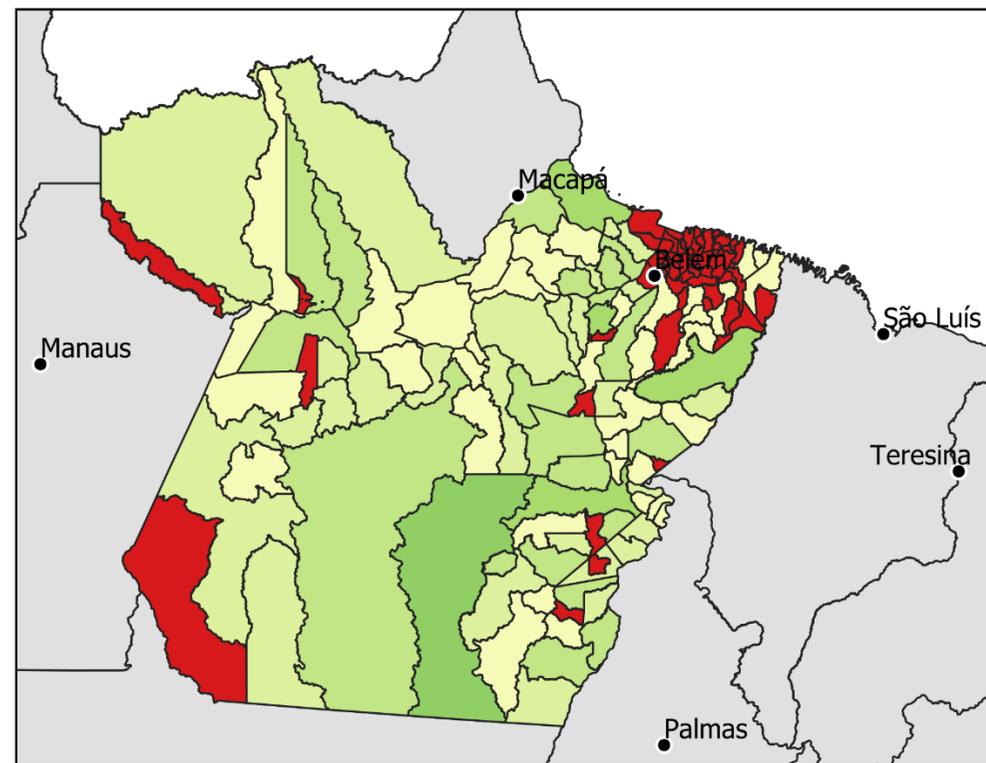
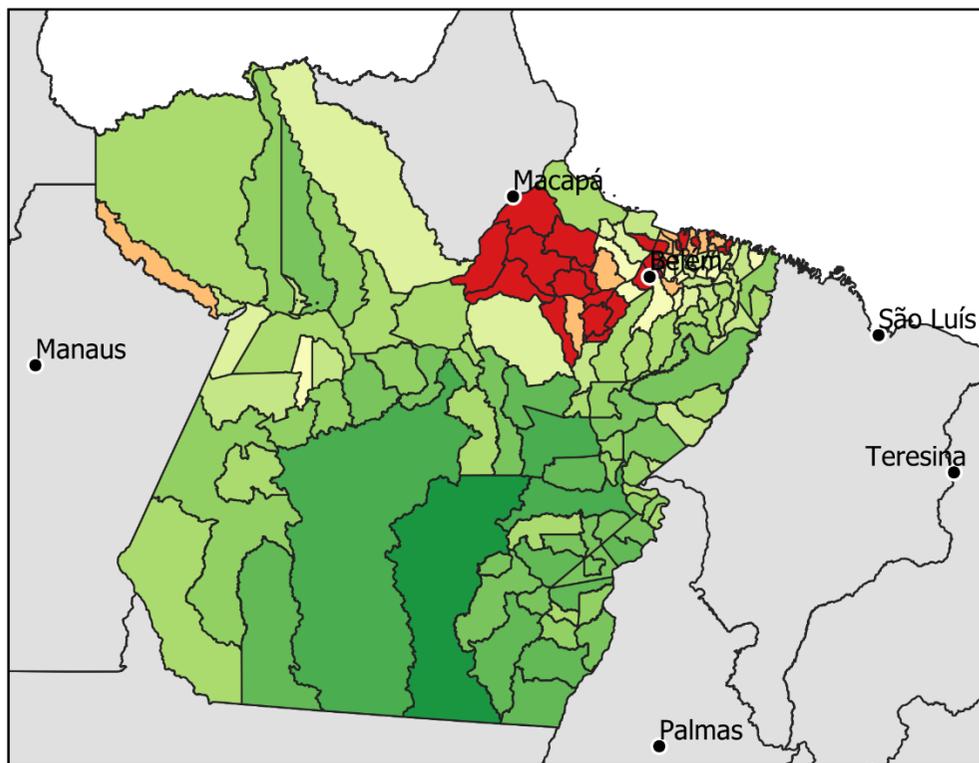
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

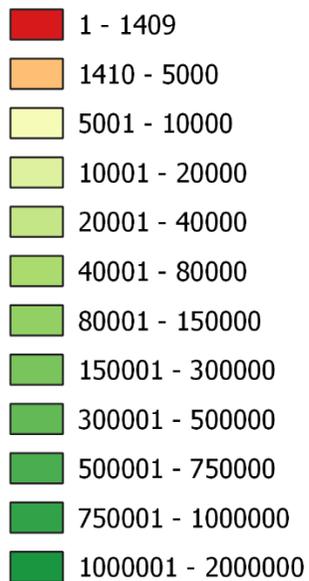
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Pará



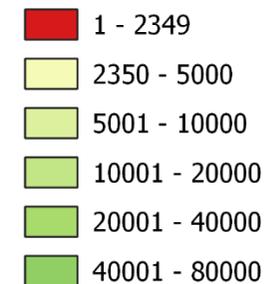
Distribuição de bovinos



0 200 400 km



Distribuição de suínos



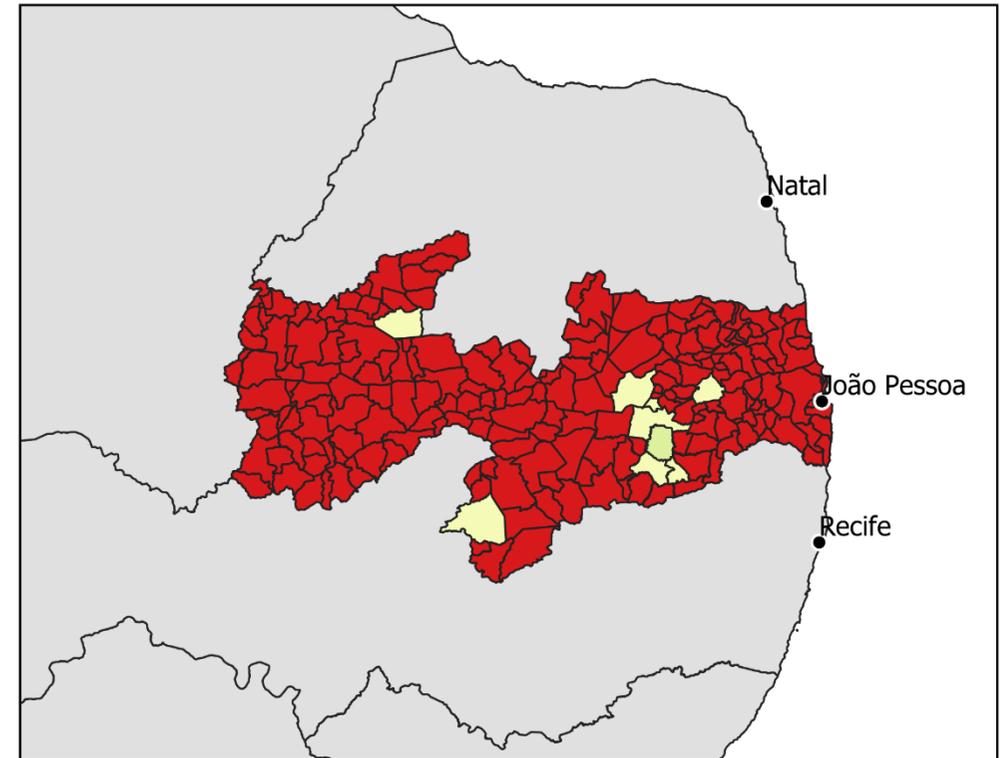
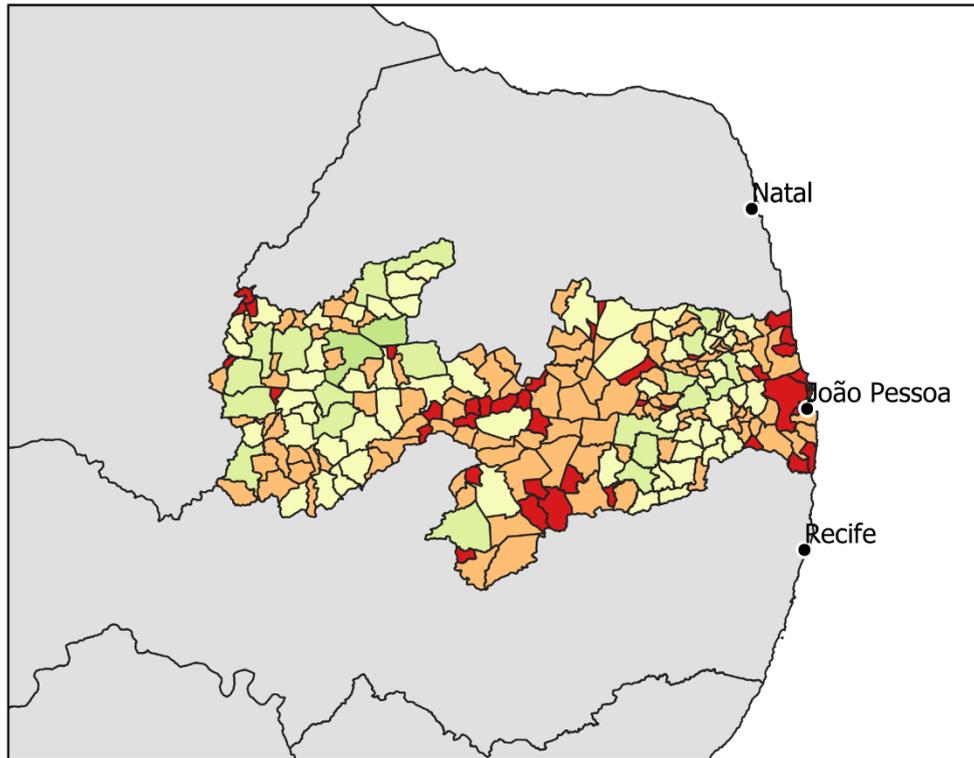
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

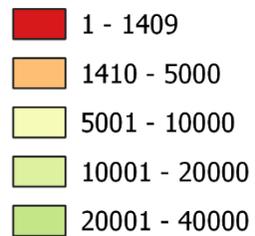
Bases de Dados Quantitativas: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

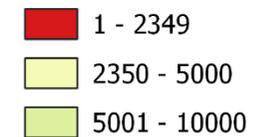
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno da Paraíba



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



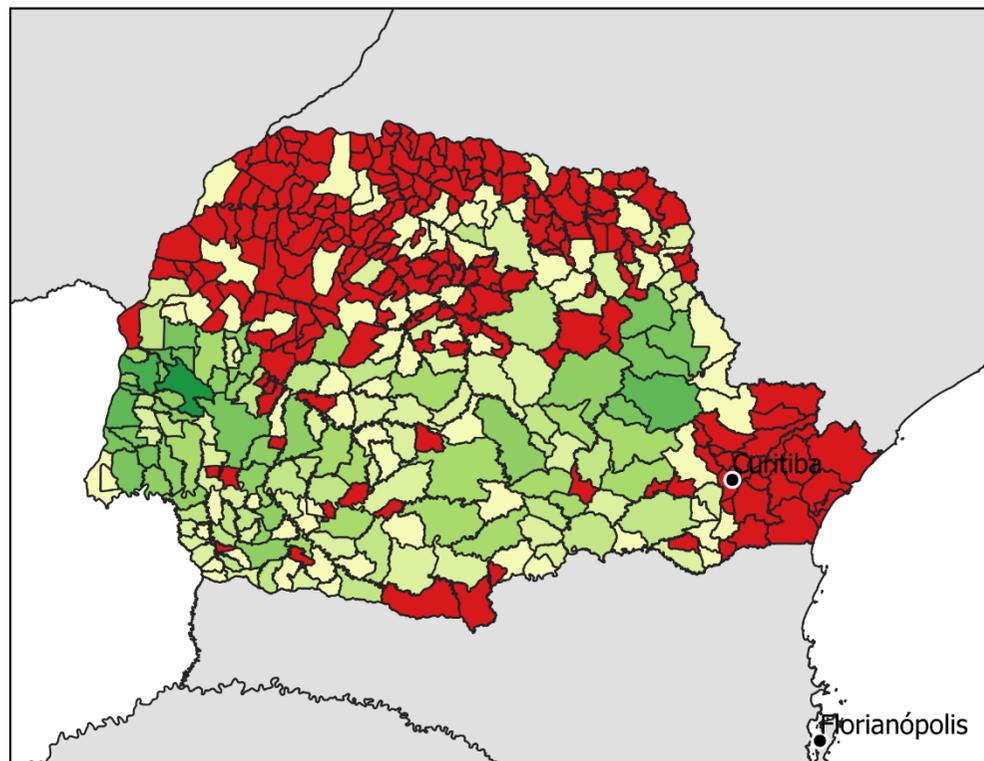
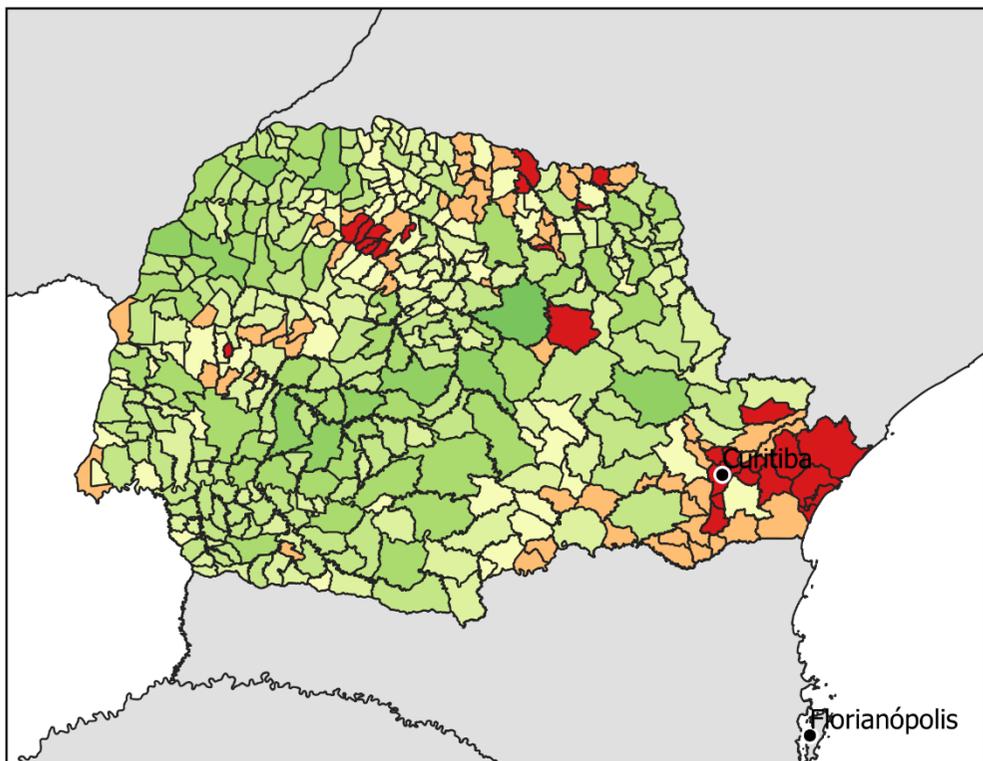
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

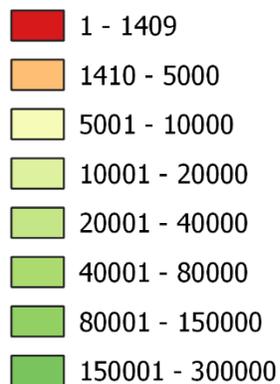
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

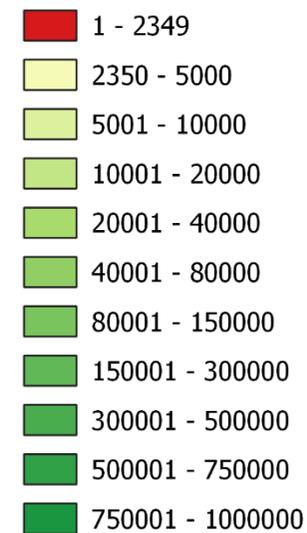
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Paraná



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos

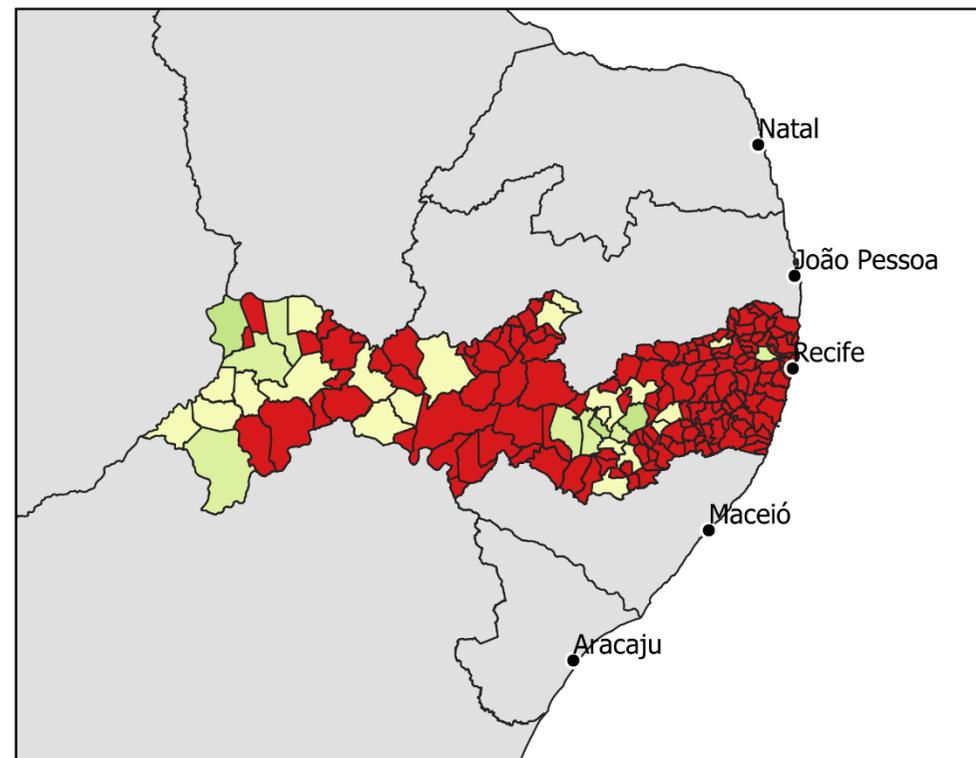
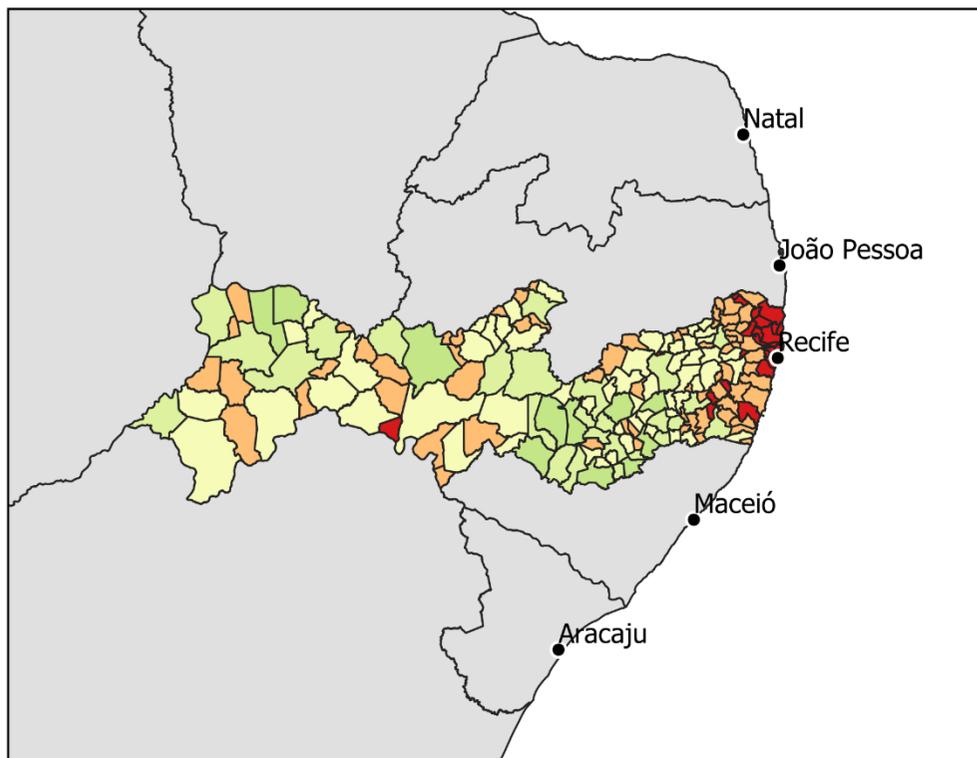


0 100 200 km

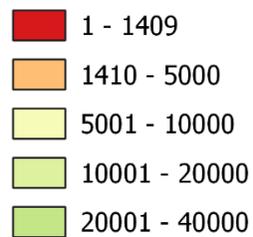


Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.
 Bases Cartográficas: IBGE, 2017.
 Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.
 Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

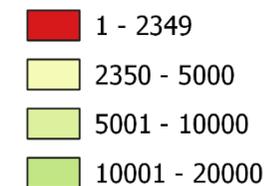
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Pernambuco



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



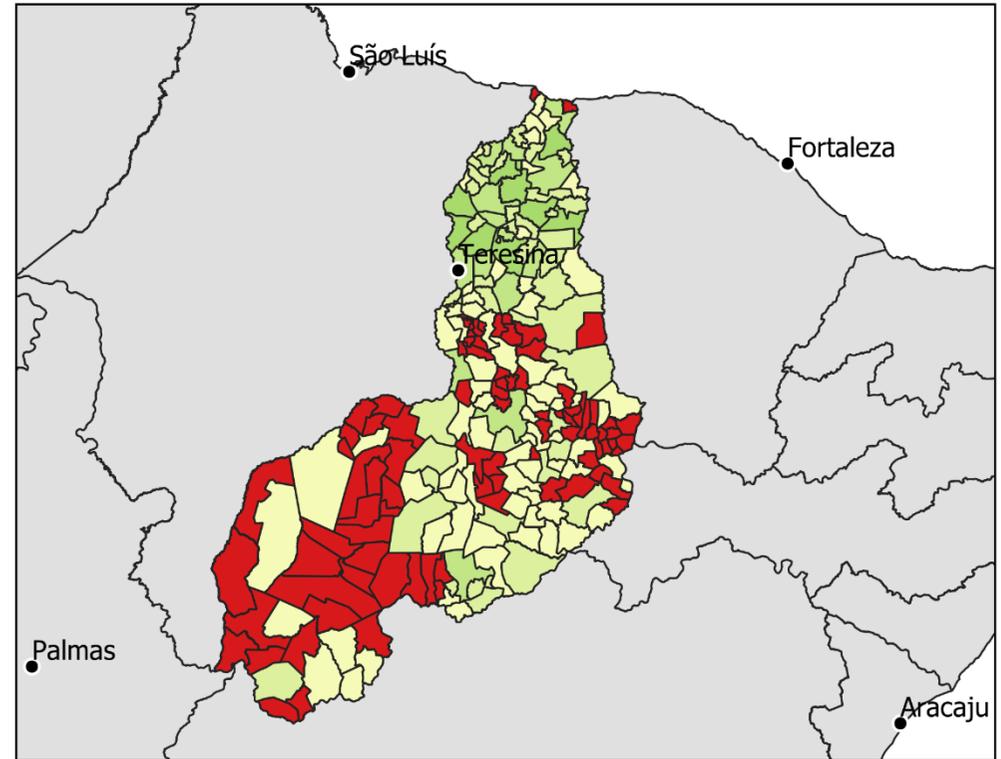
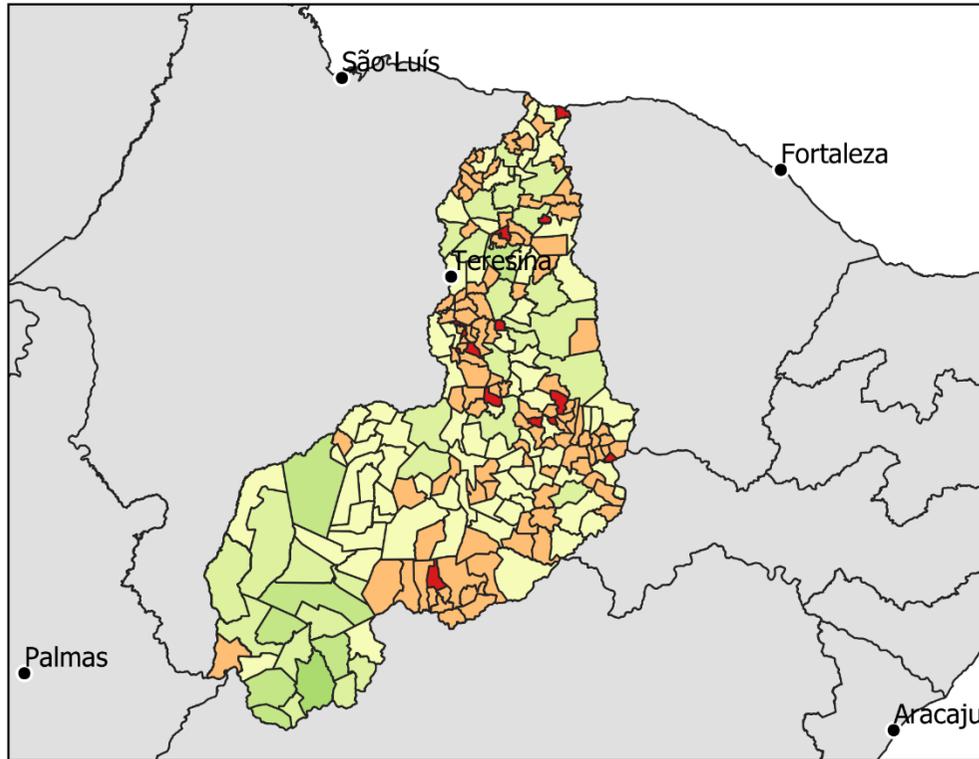
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

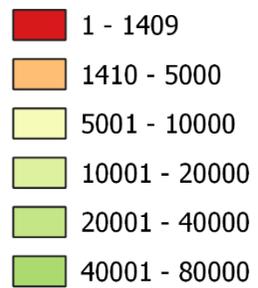
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

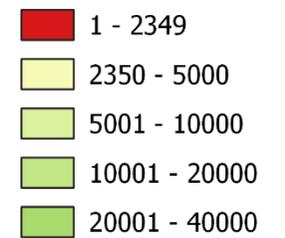
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Piauí



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



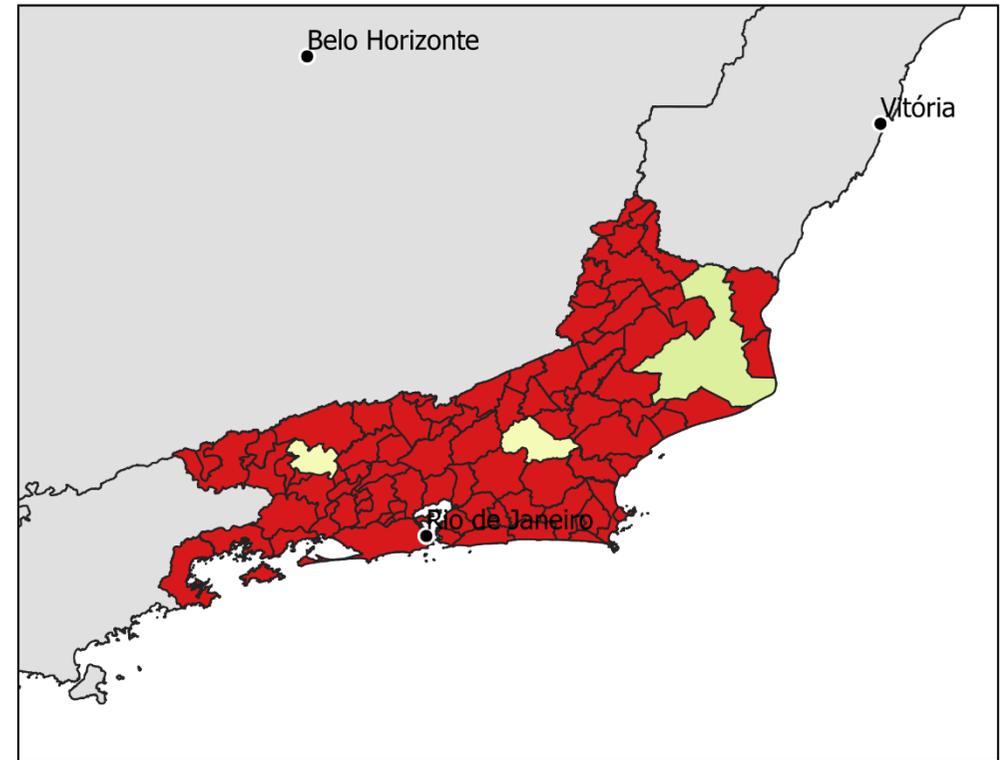
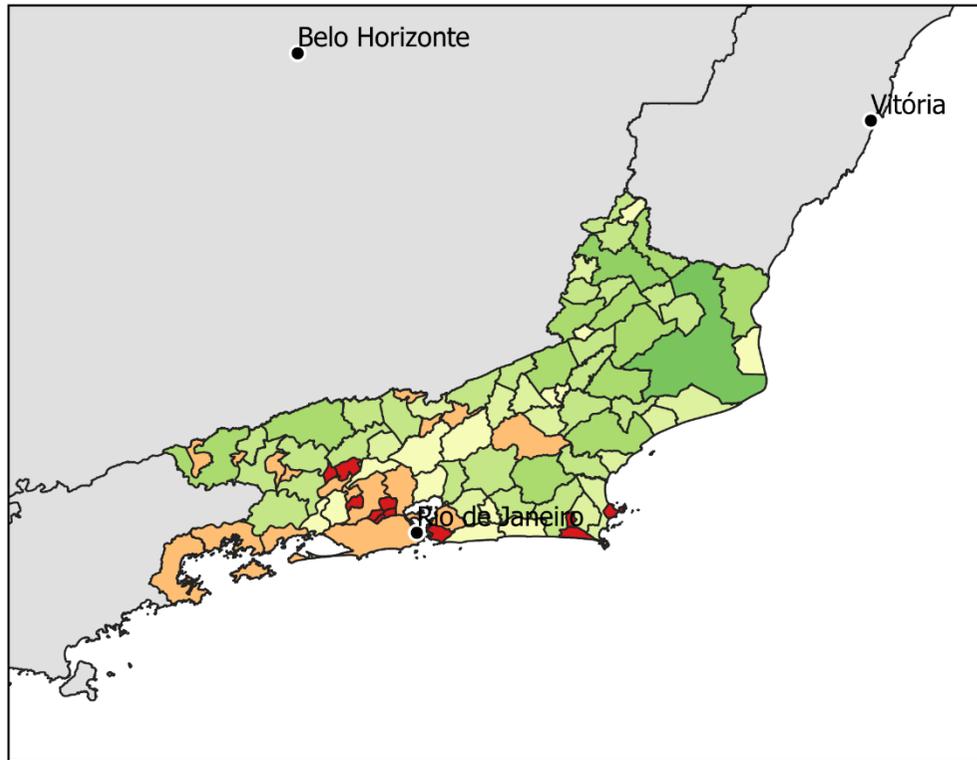
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

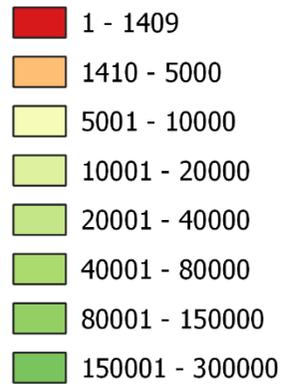
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

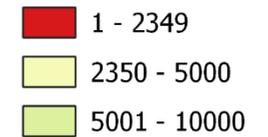
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Rio de Janeiro



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



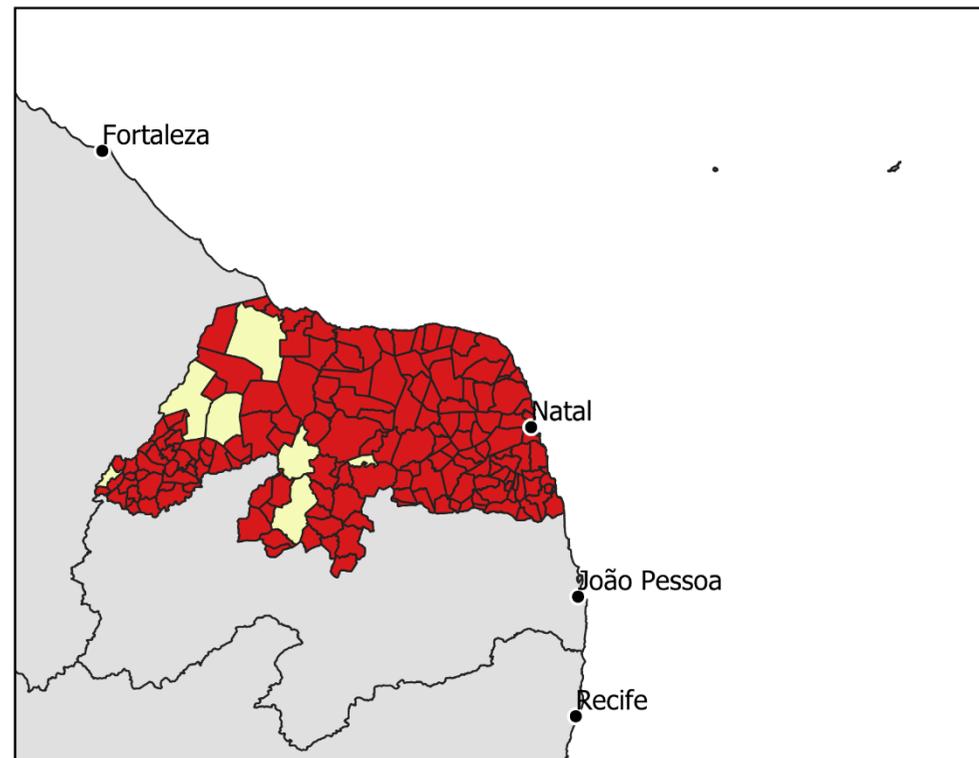
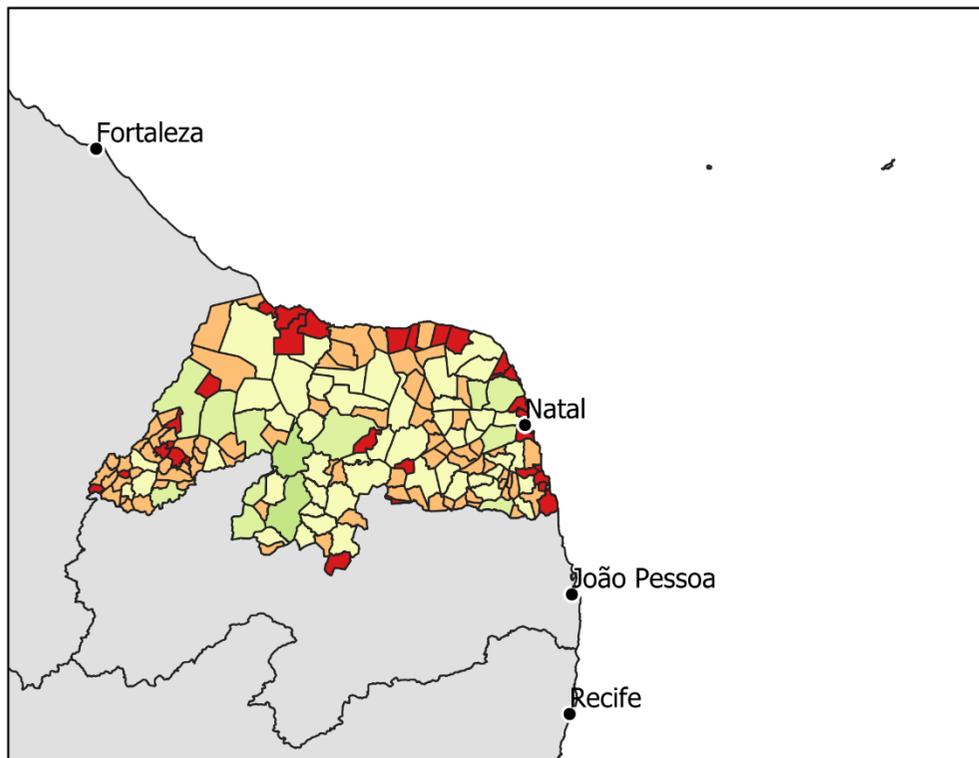
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

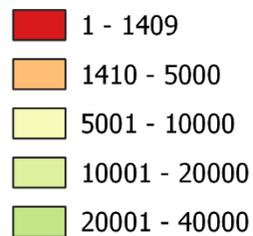
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

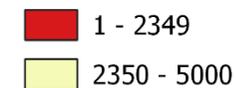
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Rio Grande do Norte



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 100 200 km



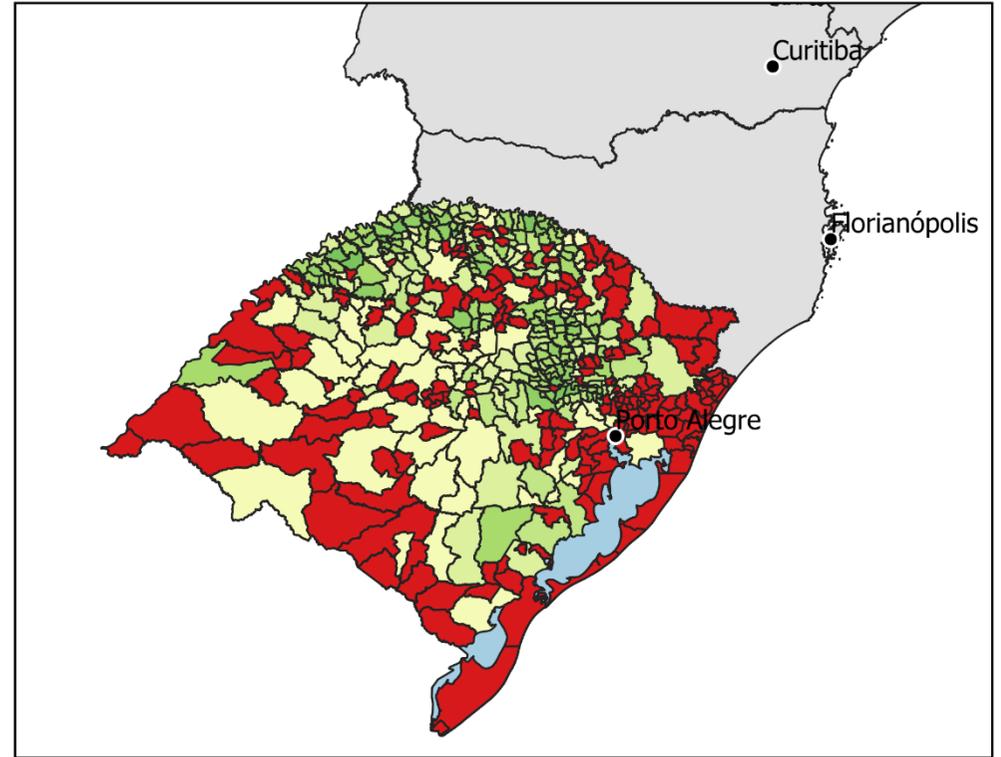
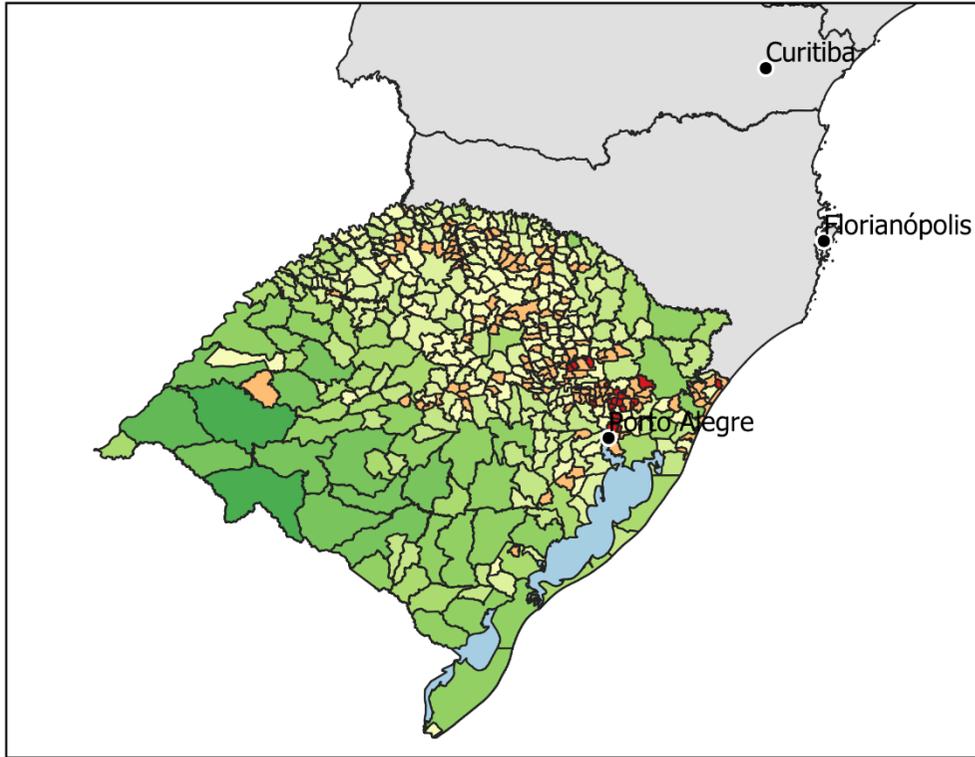
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

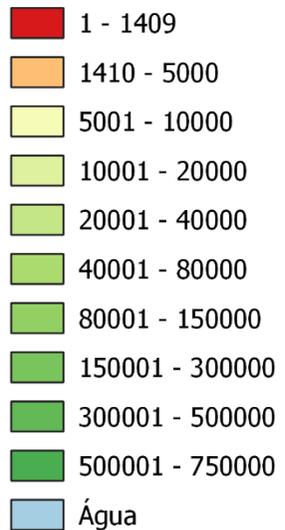
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

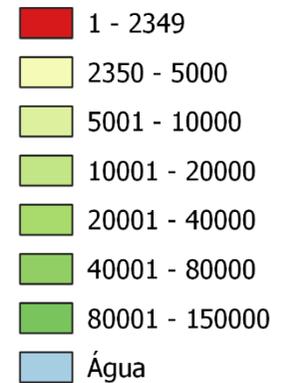
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Rio Grande do Sul



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



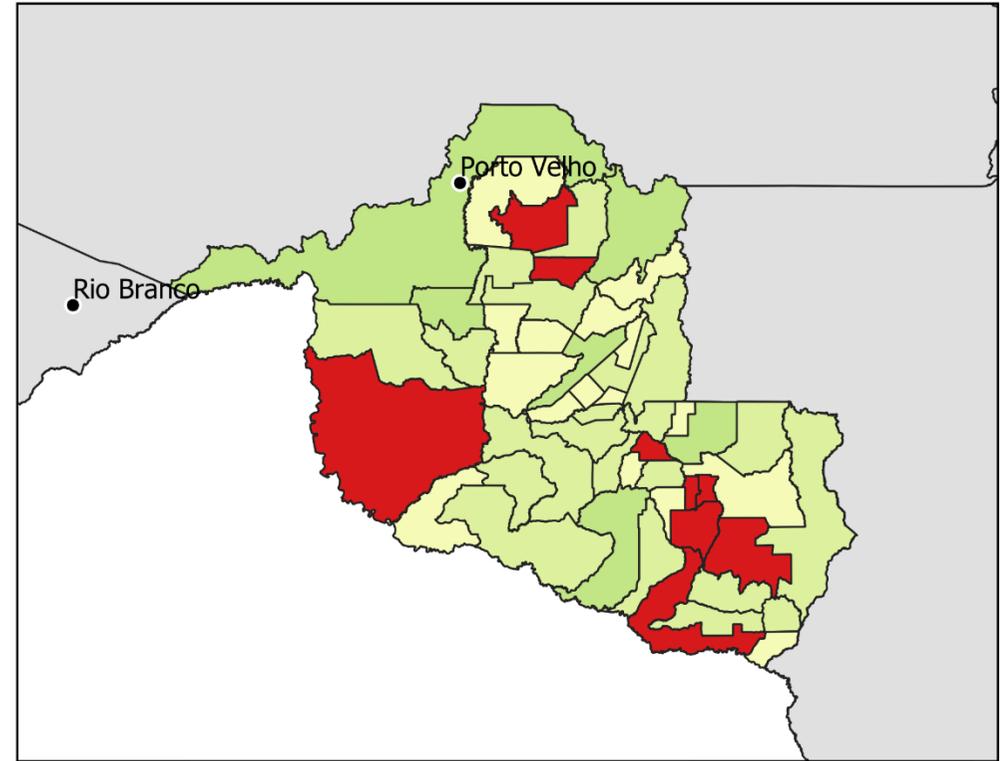
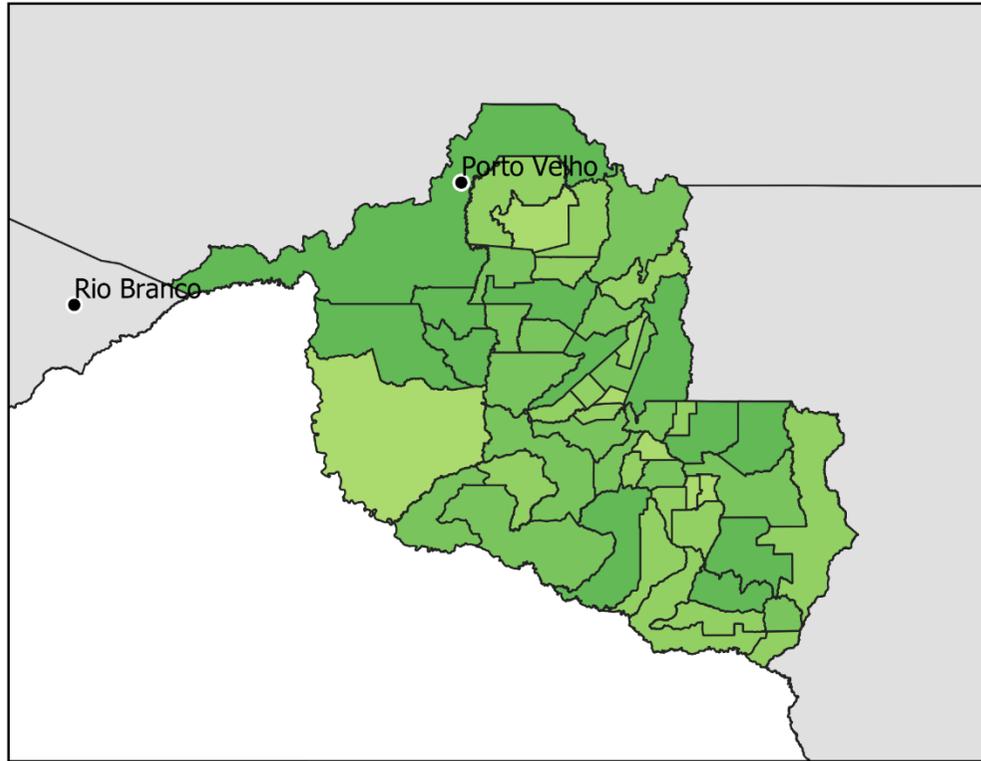
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

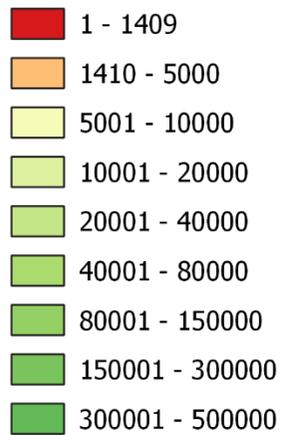
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

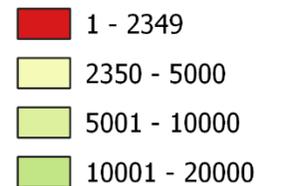
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Rondônia



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



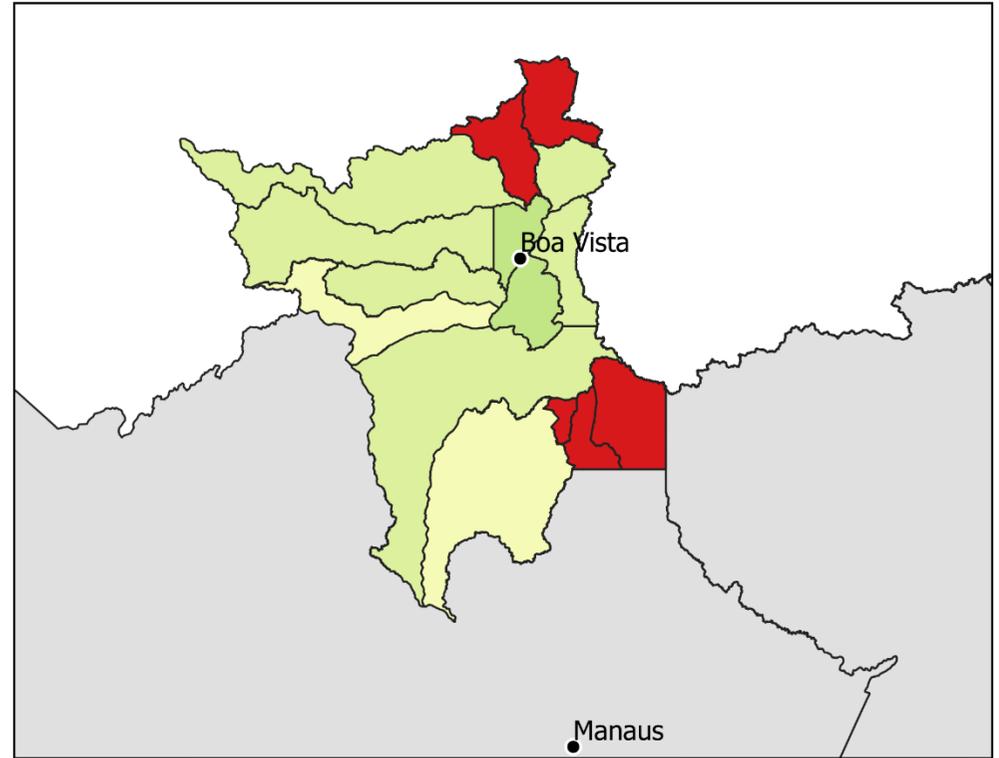
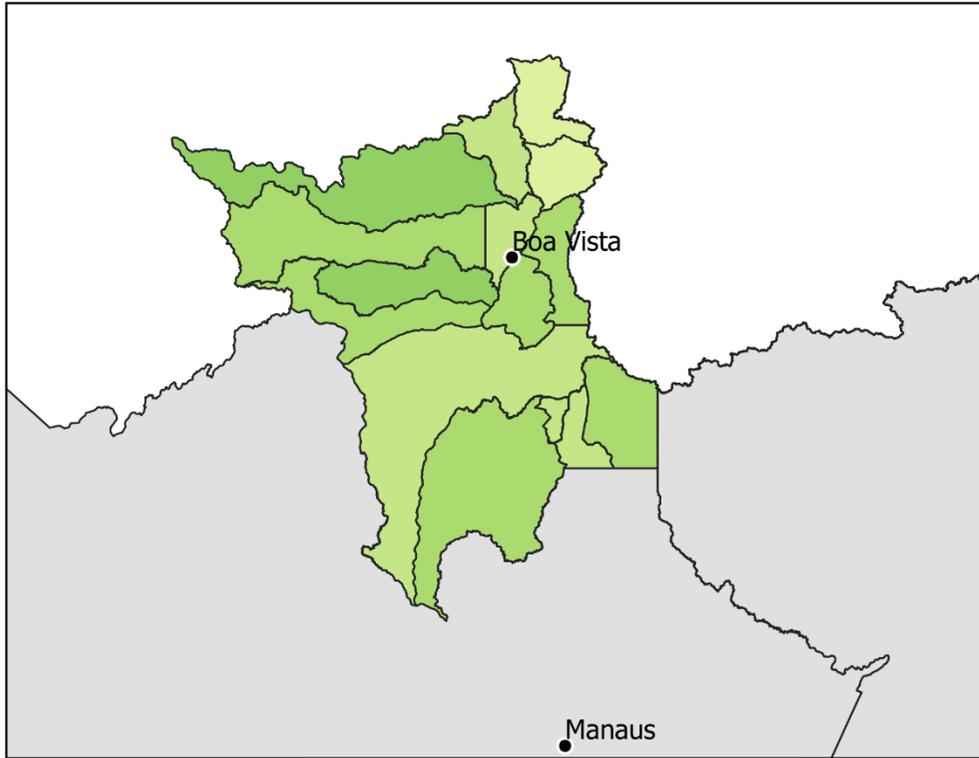
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

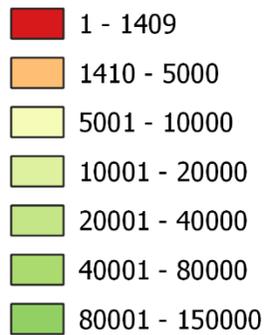
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

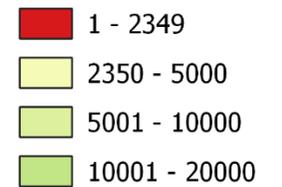
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Roraima



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



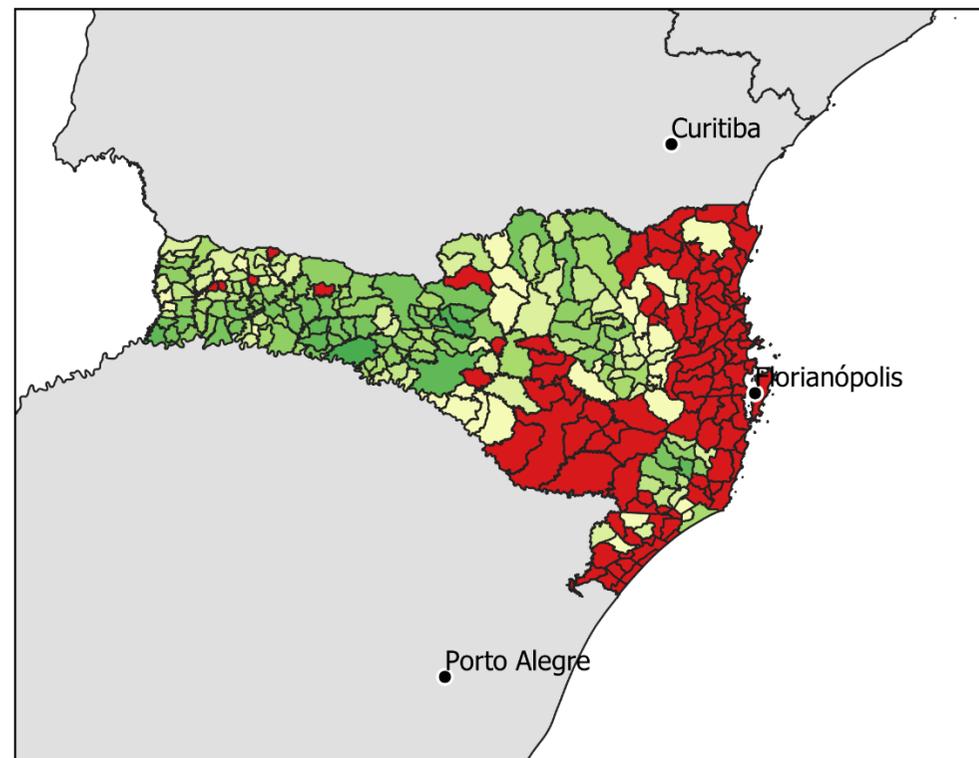
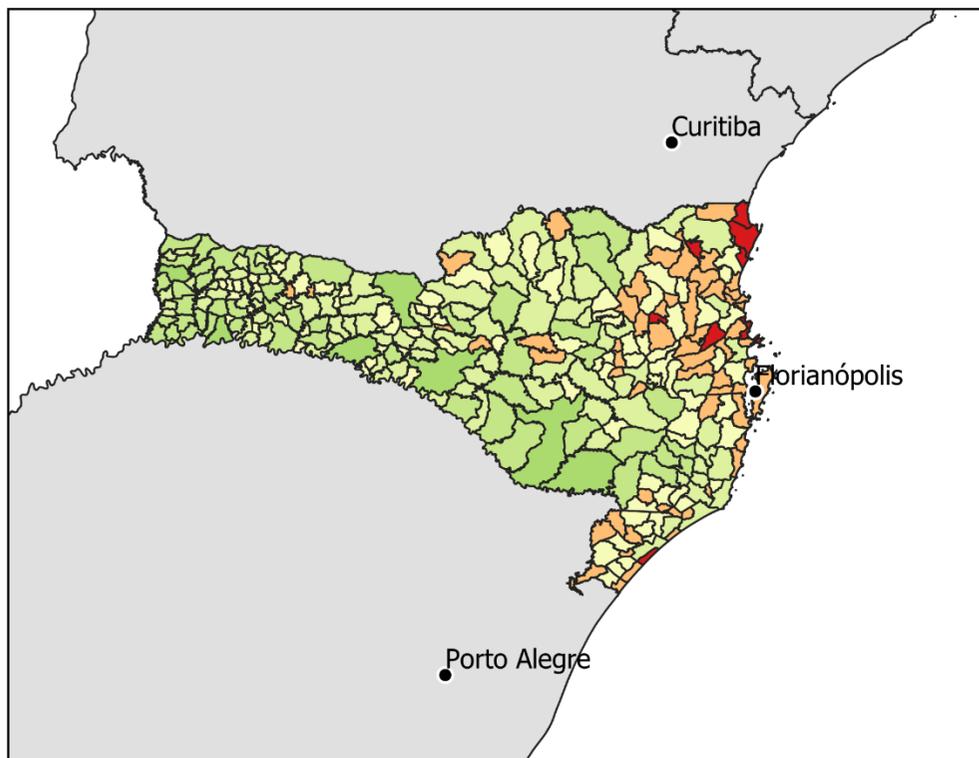
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

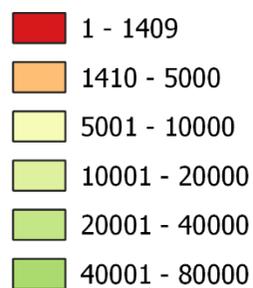
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de Santa Catarina



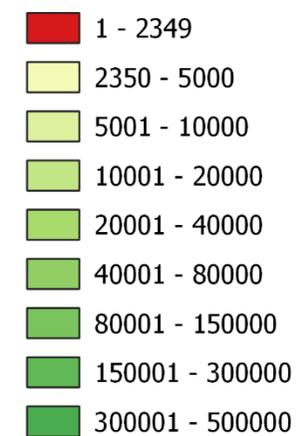
Distribuição de bovinos



0 100 200 km



Distribuição de suínos



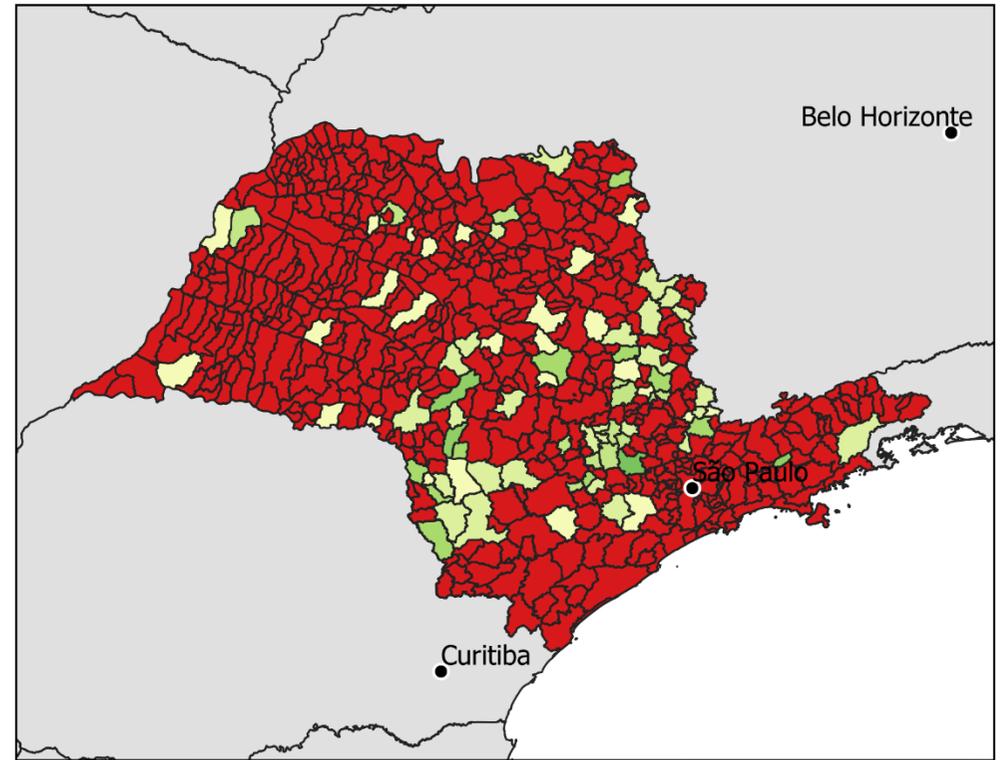
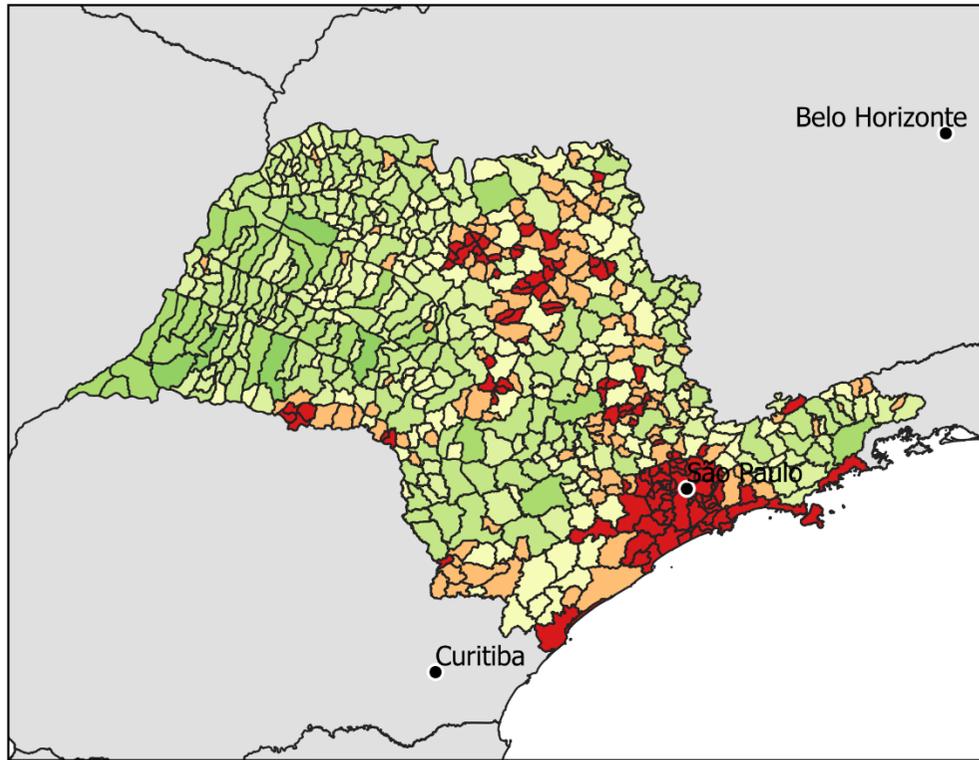
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

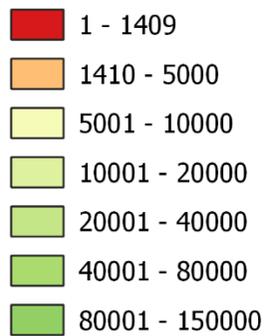
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

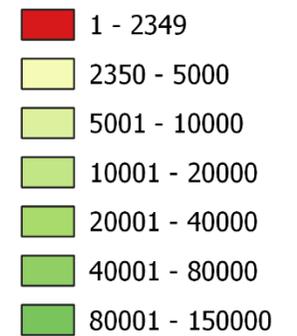
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno de São Paulo



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



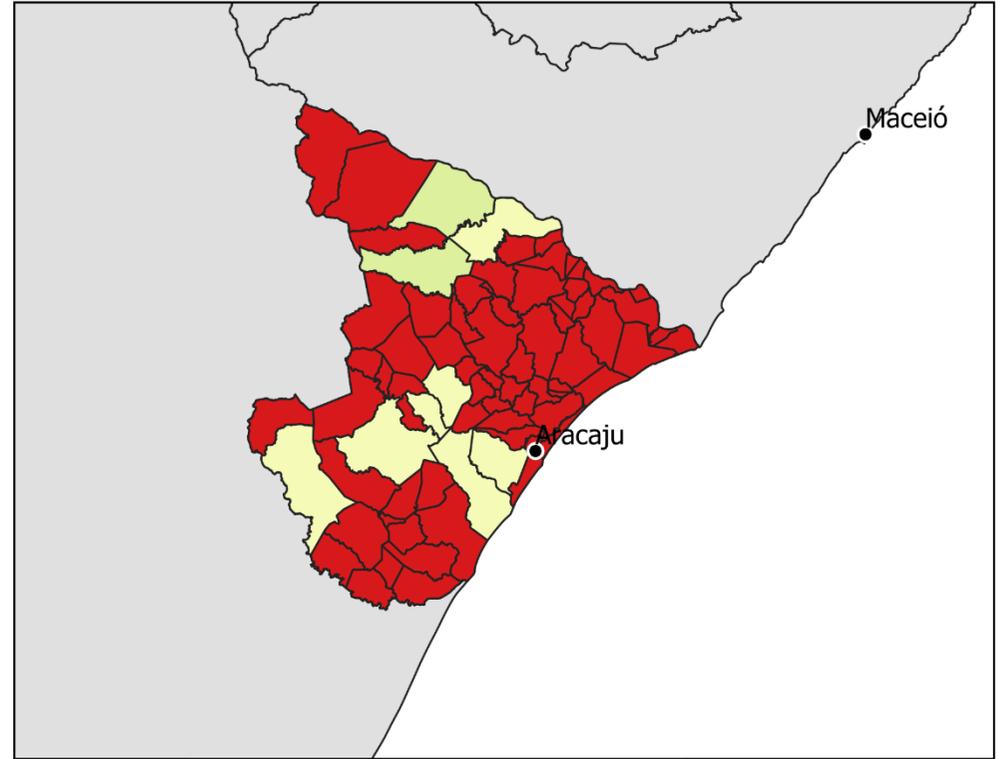
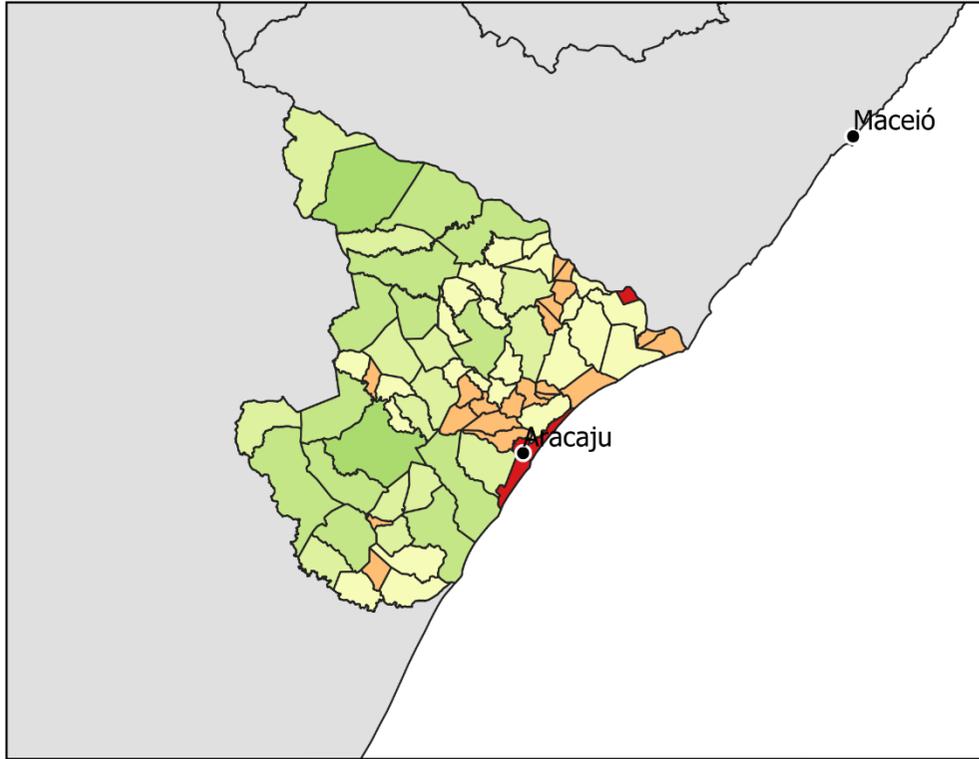
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

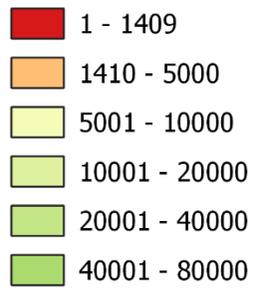
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

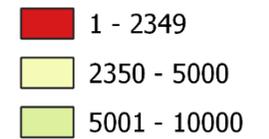
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Sergipe



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 50 100 km



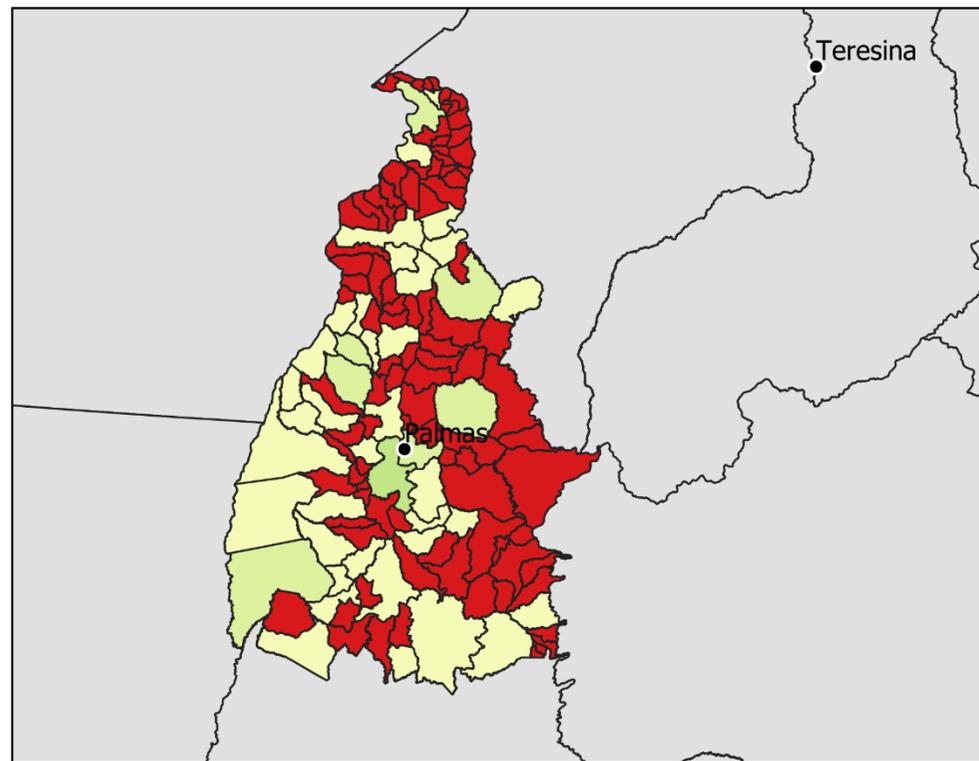
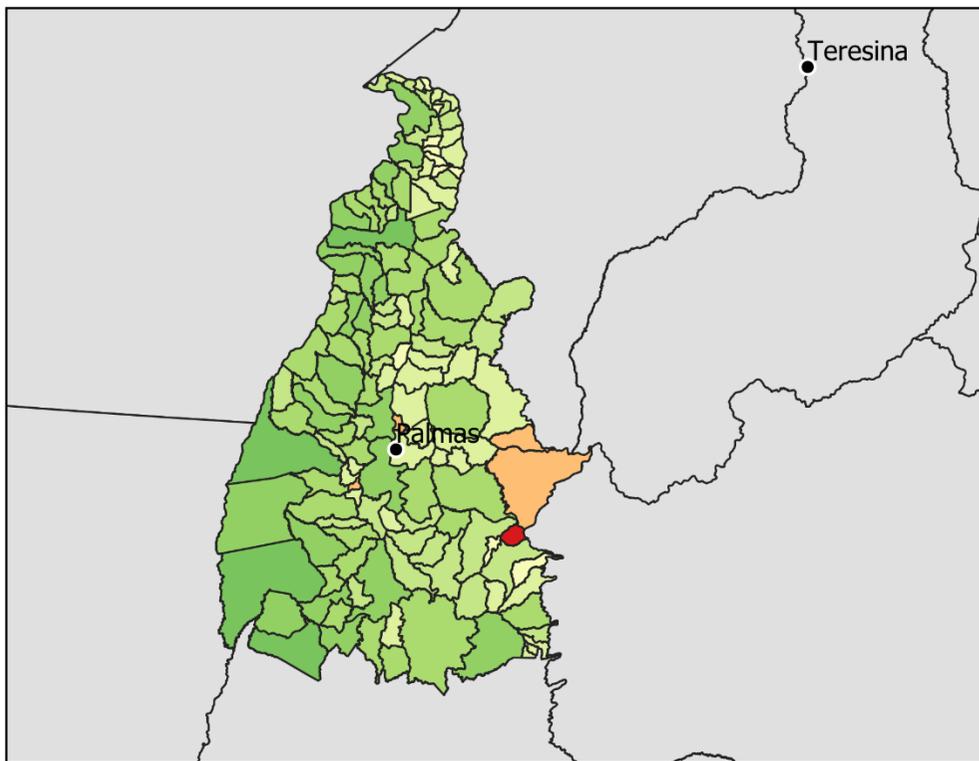
Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.

Bases Cartográficas: IBGE, 2017.

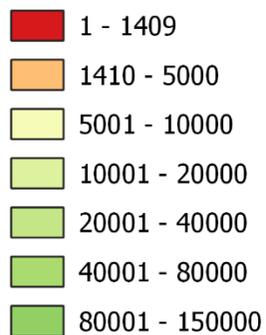
Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.

Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

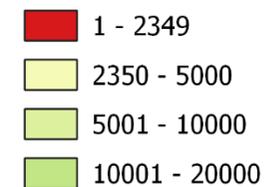
Mapa das distribuições dos rebanhos bovino e suíno do Tocantins



Distribuição de bovinos



Distribuição de suínos



0 200 400 km



Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000.
 Bases Cartográficas: IBGE, 2017.
 Bases de Dados Quantitativos: IBGE, 2017.
 Autor: Jucimar Augusto Pinto, 27/05/2021.

REFERÊNCIAS

ABDALA, J. P. (org). Energia solar e eólica 2. Volume 2. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Disponível em < <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/01/E-book-Energia-Solar-e-Eolica-2.pdf> > Acesso: 19/12/2020.

ABREU, Y. V. de; OLIVEIRA, M. A. G. de; GUERRA, S. M. G. Energia sociedade e meio ambiente. Málaga, Espanha: Eumed.Net, Universidad de Malaga, 2010. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=UE56tHTf8gIC&printsec=frontcover&dq=Energia+sociedade+e+meio+ambiente&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjxyL784s3tAhWeHbkGHRL9AJIQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=Energia%20sociedade%20e%20meio%20ambiente&f=false> > Acesso: 08/06/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Biomassa, 2003. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) > Acesso: 10/12/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 de abr. de 2012. Seção 1, p. 53, 2012. Disponível em;< <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> > Acesso: 21/03/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de dez .de 2015. Seção 1, p. 45, 2015. Disponível em: < http://www.bioenergiaengenharia.com.br/RESOLUCAO%20NORMATIVA%20REN%20687_2015.pdf > Acesso: 21/03/2021.

AL SEADI, T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KOTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. Biogas Handbook. Biogas for Eastern Europe. University of Southern Denmark, Esbjerg, 2008. Disponível em <<http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>> Acesso: 23/03/2021.

AMON, T., AMON, B; KRYVORUCHKO, V; ZOLLITSCH, W; MAYER, L. G. Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Volume 118, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.007> > Acesso: 03/01/2021.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Índice Geral de Preços – Mercado, Calculadora do cidadão. 2021. Disponível em < <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice> > Acesso: 03/01/2021.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa de juros básicas - Histórico. 2021. Disponível em < <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros> > Acesso: 05/07/2021.

BARBOSA F. A.; FILHO, B. S. S.; MERRY, F. D.; AZEVEDO, H de O.; COSTA, W. L. S.; COE, M. T.; BATISTA, E. L. da S.; MACIEL, T. G.; SHEEPERS, L. C.; OLIVEIRA, A. R. de; RODRIGUES, H. O. Cenários para a pecuária de corte na Amazônia. Belo Horizonte – MG. Ed EGC/UFGM, 2015. 146 p. Disponível em: < https://csr.ufmg.br/pecuaria/wp-content/uploads/2015/03/relatorio_cenarios_para_pecuaria_corte_amazonica.pdf> Acesso: 14/12/2020.

BARCELLOS, J. O. J. LIMA, J. A.; OLIVEIRA, T. E. de; ZAGO, D.; FAGUNDES, H. X.; LIMA, V. Bovinocultura de Corte: cadeia produtiva & sistemas de produção. Guaíba, Agrolivros, 2020. (E-book). Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=nRcIEAAAQBAJ&pg=PT198&dq=Bovinocultura&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjtkysykc7tAhWtJLkGHbgIApIQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q&f=false>> Acesso: 13/12/2020.

BARREIRA, P. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 3ª Edição. São Paulo – SP: Editora Ícone, 2011.

BARROS, E. C.; NICOLOSO, R. da S.; OLIVEIRA, P. A. V. de; CORREA, J. C.. Potencial agrônomico dos dejetos de suínos. Concórdia-SC: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1117243/potencial-agronomico-dos-dejetos-de-suinos> > Acesso: 03/04/2021.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos**: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374p.

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; NASCIMENTO, Y. D. S.; GUSHIKEN, E. CALHEIROS, H. C. SILVA, F. G. B.; STANO JÚNIOR, A. Estudo da Produção de Biogás da Digestão anaeróbia de Esterco Bovino em um Biodigestor. **Revista Brasileira de Energia**, v.15, nº 2, p. 95-116, 2009.

BAULCOMBE, D. (org). Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. London: The Royal Society, 2009. Disponível em: < https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf> Acesso: 20/12/2020.

BECHER, U. Biometano como combustível veicular. Probiogás. Ministério das Cidades e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) (org). 1ª ed. Brasília, DF. 2016. Disponível em < <https://www.giz.de/en/worldwide/40085.html> > Acesso: 04/03/2021.

BERNIS, B. A.; SCHNICKE, H. P.; BOMBANATTI, P. Avaliação de opções para o tratamento de efluentes da produção de biogás. Probiogás. Ministério das Cidades e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) (org). 1ª ed. Brasília, DF. 2015. Disponível em < <https://www.giz.de/en/worldwide/40085.html> > Acesso: 04/03/2021.

BEZERRA, C. Biogás de aterro é alternativa para gerar energia elétrica nas cidades. O setor elétrico. 2016. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/biogas-de-aterro-e-alternativa-para-gerar-energia-eletrica-nas-cidades/#:~:text=Conforme%20o%20diretor%20da%20Termoverde,de%20capacidade%20de%20aproximadamente%2050%25.>> Acesso: 21/03/2021.

BIOMOVEMENT. HomeBiogas na sua cozinha. Disponível em <<https://homebiogas.com.br/homebiogas-na-sua-cozinha/>> Acesso: 05/03/2021

BRANKER, K.; PATHAK, M.j.m.; PEARCE, J.m.. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, n. 9, p.4470-4482, dez. 2011. Elsevier BV. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.104.>> Acesso: 29/04/2021.

BRASIL. Decreto-lei nº 13.986, de 7 de abril de 2020. Institui o Fundo Garantidor Solidário (FGS); dispõe sobre o patrimônio rural em afetação, a Cédula Imobiliária Rural (CIR), a escrituração de títulos de crédito e a concessão de subvenção econômica para empresas cerealistas. Brasília-DF, 19 ago 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L13986.htm>. Acesso: 12/12/2020.

BRASIL. Decreto-lei nº 4.829, de 5 de novembro de 1965. Institucionaliza o crédito rural. Brasília-DF, 5 nov 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4829.htm#:~:text=LEI%20No%204.829%2C%20DE%205%20DE%20NOVEMBRO%20DE%201965&text=Institucionaliza%20o%20cr%C3%A9dito%20rural.&text=Art.,o%20bem%2Destar%20do%20povo.>. Acesso: 12/12/2020.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília-DF. 30 jul 2004 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.htm>. Acesso 04/07/2021.

BRASIL. Decreto-lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. Brasília-DF, 17 jan 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8171.htm>. Acesso: 12/12/2020.

BRASIL. Decreto-lei nº 8.929, de 22 de agosto de 1994. Institui a Cédula de Produto Rural, e dá outras providências. Brasília-DF, 22 ago 1994. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l8929.htm#:~:text=LEI%20No%208.929%2C%20DE%2022%20DE%20AGOSTO%20DE%201994&text=Institui%20a%20C%C3%A9dula%20de%20Produto,Art.>. Acesso: 12/12/2020.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil – MCT. O Fator de Emissão Médio em TCO_{2eq} pela Geração de Eletricidade no Sistema Interligado Nacional – SIN. 2014. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>> Acesso: 10/06/2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2019. 2020. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despach_o.html>. Acesso 10/04/2021.

BRUCK M.; SANDBORN P.; GOUDARZI N. A Levelized Cost of Energy (LCOE) model for wind farms that include Power Purchase Agreements (PPAs). **Renewable Energy**. Volume 122, Julho 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.100>> Acesso: 5/5/2021.

BURANELLO, R. **Agronegócio**: conceito. Enciclopédia jurídica da PUC-SP. 1ª edição. São Paulo – SP. 2018. Disponível em: <<https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/208/edicao-1/agronegocio:-conceito>> Acesso: 04/05/2020.

BURATTINI, M. P. T. de C. **Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo – SP: Editora Livraria da Física, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=e71C1bInDocC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> Acesso: 11/05/2020.

CAMPO, C. B.; CAMPBELL, J. E.; LOBELL, D. B. Biomass energy: the scale of the potential resource. **Trends in Ecology & Evolution**. Volume 23. Fevereiro 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.12.001> > Acesso: 16/05/2020.

CAMPOS, O. F. de; MIRANDA, J. E. C. de. **O produtor pergunta, a Embrapa Responde**. 3ª edição. Brasília – DF Embrapa gado e leite, 2012. Disponível em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101772/1/500perguntasgadoleite.pdf> > Acesso: 04/03/2021.

CARVALHO R. de Q.; TAVAREZ, A. N.; SANTOS, G. V. dos; BAJAY, S. V. Oportunidades Enterradas. Vitória-ES. 1ª edição. Edufes. 2019. Disponível em < https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/11417/1/Oportunidades_Enterradas.pdf > Acesso: 04/04/2021.

CASTRO E SILVA, H. L.; SILVA, A. M. L.; BARROS, R. M.; SANTOS, I. F. S.; FREITAS J. V. R. de. Addition of iron ore tailings to increase the efficiency of anaerobic digestion of pig manure: A technical and economic analysis. **Biomass and Bioenergy** Volume 148, Março, 2021. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106013> > Acesso: 23/03/2021

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (CIBiogás – ER). Nota Técnica: N° 002/2010 – Panorama do Biogás no Brasil em 2019. Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: < <https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf> > Acesso: 05/01/2021.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do agronegócio 2020. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso: 11/12/2020.

CHADDAD, F. R. **Economia e Organização da Agricultura Brasileira**. 1ª edição, Barueri-SP: Editora GEN Atlas, 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

CHOI, D.; OH, J.-I.; BAEK, K.; LEE, J.; KWON, E. E. Compositional modification of products from Co-Pyrolysis of chicken manure and biomass by shifting carbon distribution from pyrolytic oil to syngas using CO₂. **Energy**. Volume 153, 15 Junho 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.084> > Acesso: 20/05/2021.

COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S.; DE ABREU F. C.; A conversão da fonte renovável biogás em energia. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio. Brasília – DF, 2006a. p. 145-149. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/228452829_A_conversao_da_fonte_renovavel_biogas_em_energia > Acesso: 15/12/2020.

COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S.; DE ABREU F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. Universidade de São Paulo; Instituto de Eletrotécnica e Energia; Centro Nacional de referência em biomassa. São Paulo – SP. 2006b. Disponível em: < <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/070.pdf> > Acesso: 06/03/2021.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) Biogás: Pesquisa e Projetos no Brasil. 2006. Disponível em < <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/livrobiogas.pdf> > Acesso: 15/01/2021.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011; Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011; Brasília, DF.

COSTA, P. S. P e LINO, E. N. da S. **O agronegócio no brasil**: uma análise contra hegemônica voltada à sustentabilidade e ao direito ao desenvolvimento. Dourados-MS, v.10, n.20, jul./dez. 2018. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/videre/article/view/7224> > Acesso: 14/12/2020.

DAHUNSI, SO. Mechanical pretreatment of lignocelluloses for enhanced biogas production: Methane yield prediction from biomass structural components. **Bioresource Technology**. Volume 280, Maio 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.006> > Acesso: 16/05/2021.

DE ANDRADE, J. V. B.; RODRIGUES B. N.; SANTOS, I. F. S; HADDAD J.; TIAGO FILHO, G. L. Constitutional aspects of distributed generation policies for promoting Brazilian

economic development. **Energy Policy** Volume 143, Agosto 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111555> > Acesso: 22/03/2021.

EARP, F. S. (org). **Como vai o Brasil?** A economia brasileira no terceiro milênio. Rio de Janeiro – RJ. Ímã Editorial, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Avicultura: Fonte de calor é essencial em período crítico do inverno. – Brasília - DF: Embrapa, 2014. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1908901/avicultura-fonte-de-calor-e-essencial-em-periodo-critico-do-inverno>> Acesso: 19/12/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. – Brasília - DF: Embrapa, 2006. Disponível em: < http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_14177t4r.PDF > Acesso: 08/12/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Projeto BiogásFORT® da Embrapa Suínos e Aves é premiado pelo Ministério do Meio Ambiente como uma das melhores práticas de sustentabilidade do país. – Brasília - DF: Embrapa, 2020. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58159006/projeto-biogasfort-da-embrapa-suinos-e-aves-e-premiado-pelo-ministerio-do-meio-ambiente-como-uma-das-melhores-praticas-de-sustentabilidade-do-pais>> Acesso: 18/12/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistemas de Produção de Suínos. – Brasília - DF: Embrapa, 2003. Disponível em: < <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/index.html> > Acesso: 13/12/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. – Brasília - DF: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira> > Acesso: 13/12/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica ano base 2017. Rio de Janeiro - RJ: EPE 2021. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>>. Acesso em 01 de mai. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019 – Rio de Janeiro - RJ: EPE, 2020a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> > Acesso: 13/12/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Nacional de Energia – 2050, Rio de Janeiro - RJ: EPE, 2020b. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050> > Acesso: 13/12/2020.

FELCA, A. T. A.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; SANTOS, I. F. S; RIBEIRO, E. M. Analysis of biogas produced by the anaerobic digestion of sludge generated at wastewater treatment plants in the South of Minas Gerais, Brazil as a potential energy source. **Sustainable**

Cities and Society Volume 41, Agosto 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.035> > Acesso: 16/05/2021.

FLORIÃO, M. M. Boas práticas em bovinocultura leiteira com ênfase em sanidade preventiva. Niterói: Programa Rio Rural, 2013. 50 p. Disponível em < http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/38Boas_Praticas_Bovinoicultura_Leiteira.pdf > Acesso: 11/08/2020.

FORTALEZA, A. P. de S. Tópicos Importantes em Bovinocultura de Corte. Editora Simplíssimo, 2015. (E-book). Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=r4wLCwAAQBAJ&pg=PP1&dq=Bovinoicultura&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjtkyskqc7tAhWtJLkGHbgIApIQ6AEwAXoECAUQAg#v=onepage&q=Bovinoicultura&f=false> > Acesso: 13/12/2020.

FREITAS, F. F; SOUZA, S. S.; de FERREIRA, L. RA; OTTO, R. B.; ALESSIO, F. J.; SOUZA, S. NM de; VENTURINI, O. J.; ANDO JUNIOR, O. H. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** Volume 101, March 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007> > Acesso: 06/03/2021.

FREITAS, L. C. F.; SANTIAGO, Y. C.; RIBEIRO, N. de S.; MARQUEZ, T. E.; PINTO, J. A.; MOGOLLÓN, D. I. N.; SILVA, A. T. Y. L. Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas – SP. **Research, Society and Development**, volume. 8, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v8i6.788>> Acesso: 05/03/2021.

GANDRA, A. **Rebanho bovino cresce em 2019, influenciado pelo cenário externo**. Agência Brasil. 2020. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-10/rebanho-bovino-cresce-em-2019-influenciado-pelo-cenario-externo> > Acesso: 10/03/2021.

GARCEZ, C. G. Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. **Utilities Policy**. Volume 49, Dezembro 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.06.005> > Acesso: 23/03/2021.

GOMES, F. C. de S P.; SARAIVA, A. C.; BORGES, C. A.; SANTOS L. L. dos; L. F. COLTURATO; O. JENDE; S. ROSENFELDT; T. A. SERAVAL; T. D. B. COLTURATO; V. S. SIQUEIRA; W. P. SILVA; Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás. Probiogás. Ministério das Cidades e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) (org). 1ª ed. Brasília, DF. 2016. Disponível em < <https://www.giz.de/en/worldwide/40085.html> > Acesso: 04/03/2021.

GRIMA-OLMEDO, C.; RAMÍREZ-GÓMEZ, Á.; ALCALDE-CARTAGENA, R. Energetic performance of landfill and digester biogas in a domestic cooker. **Applied Energy**, v. 134, 2014. Disponível em: < DOI: 10.1016 / j.apenergy.2014.08.032 > Acesso: 10/03/2021.

HOSSEINI, S. E.; WAHID, M. A. Biogas utilization: Experimental investigation on biogas flameless combustion in lab-scale furnace. **Energy Conversion and Management**, v. 74, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.026> > Acesso: 10/03/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agro 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html>. Acesso: 04/12/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Domicílios brasileiros. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros.html#:~:text=Em%202019%2C%20quase%20que%20a,se%20dava%20em%20tempo%20integral.>>. Acesso: 04/05/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa da Pecuária Municipal 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso: 04/05/2020.

IICA. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Situação e perspectivas da agricultura brasileira: experiência da cooperação técnica do IICA. 2009. Disponível em: <<http://repiica.iica.int/docs/B2226p/B2226p.pdf>>. Acesso: 08/06/2020.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019 – São Paulo - SP, 2020. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso: 24/03/2021.

JENDE, O; PLATZER, C.; CABRAL, C. B. G.; HOFFMANN, H.; ROSENFELDT, S.; COLTURATO, L.F. de D. B.; BURKARD, T.; LINNENBERG, C.; DANIEL; STINNER, W.; ZÖRNER, F.; SCHRÖDER, E. S. . Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substrato, digestores e uso de biogás. Probiogás. Ministério das Cidades e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) (org). 1ª ed. Brasília, DF. 2015. Disponível em < <https://www.giz.de/en/worldwide/40085.html> > Acesso: 04/03/2021.

KABUBO-MARIARA, J. Global warming and livestock husbandry in Kenya: Impacts and adaptations. **Ecological Economics**. Volume 68, Maio 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.002> > Acesso: 05/03/2021.

KIGGUNDU, N.; DDUNGU, S. P.; WANYAMA, J.; CHEROTICH, S.; MPAIRWE, D.; ZZIWA, E.; MUTEBI, F.; FALCUCCI, A. Greenhouse gas emissions from Uganda's cattle corridor farming systems. **Agricultural Systems**. Volume 176, Novembro 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102649>> Acesso: 16/03/2021.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M.; SANGOI, V. Recomendações para uso de esterqueiras para armazenagem de dejetos de suínos. Concórdia-SC: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Disponível em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSA/15678/1/cot361.pdf> > Acesso: 31/03/2021.

KUNZ, A.; STEINMETZ R. L. R.; AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia-SC: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em <

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197183/1/Livro-Biogas.pdf> > Acesso: 04/04/2021.

LEME, M. M. V.; ROCHA, M. H.; LORA, E. S.; VENTURINI, O. J.; LOPES, B. M.; FERREIRA, C. H. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**. Volume 87, June 2014. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.003> > Acesso: 22/05/2021.

LI, Y.; PARKI, S. Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 15. 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.042> > Acesso: 02/02/2021.

LOPES, M. M. **Aproveitamento energético em aterros sanitários: análise da viabilidade técnica e econômica para o uso de biogás e instalação de painéis fotovoltaicos**. 114p. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Energia. Universidade Federal de Itajubá. 2017. Disponível em < <http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/862> > Acesso: 18/12/2020.

LORA, E. S.; ANDRADE, R.V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 777–788, 2009. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.12.004> > Acesso: 10/04/2021.

LUCAS JÚNIOR, J. de; SOUZA, C. de F.; LOPES, J. D. S. **Construção e Operação de Biodigestores**. Viçosa – MG. CPT, 2009.

MAGDESIAN, I. M. E. A proposta de mudança da norma de geração distribuída de energia. Associação Nacional dos Consumidores de Energia (ANACE). 2020. Disponível em < <http://www.anacebrasil.org.br/noticias/a-proposta-de-mudanca-da-norma-de-geracao-distribuida-de-energia/> > Acesso: 21/05/2020.

MENSAH, J. H. R.; SILVA, A. T. Y. L.; SANTOS, I. F. S; RIBEIRO, N. de S.; GBEDJINOU, M. J.; NAGO, V. G.; TIAGO FILHO, G. L; BARROS, R. M. Assessment of electricity generation from biogas in Benin from energy and economic viability perspectives. **Renewable Energy**. Volume 163, Janeiro 2021. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.014> > Acesso: 21/05/2020.

MIDOLO, E. Conheça a rua mais cara de Londres. Forbes, Revista de negócios e economia 2019. Disponível em < <https://forbes.com.br/principal/2019/10/boulevard-dos-bilionarios-se-mantem-como-rua-mais-cara-da-inglaterra/> > Acesso: 10/08/2020.

MOLINUEVO-SALCES, B.; MAHDY, A.; BALLESTEROS, M.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C. From piggery wastewater nutrients to biogas: microalgae biomass revalorization through anaerobic digestion. **Renewable Energy**, 96, 2016. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.090> > Acesso: 10/05/2020.

MONOU, M.; KYTHREOTOU, N.; FATTA, D.; SMITH, S. R.. Rapid screening procedure to optimise the anaerobic codigestion of industrial biowastes and agricultural livestock wastes in

Cyprus. **Waste Management**. 29, 712–720. 2009. Disponível em < doi:10.1016/j.wasman.2008.06.013 > Acesso: 18/12/2020.

MORAIS, M. A. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura**. 92p. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Energia. Universidade Federal de Itajubá. 2012. Disponível em < https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1094 > Acesso: 18/12/2020.

MOSTAFA, M. H.; ALEEM S. HE. A.; ALI, S. G.; ALI, Z. M.; ABDELAZIZ, A. Y. Techno-economic assessment of energy storage systems using annualized life cycle cost of storage (LCCOS) and levelized cost of energy (LCOE) metrics. **Journal of Energy Storage**. Volume 29, Junho 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101345> Acesso: 5/5/2021.

NAVARRO, Z.; CAMPOS, S. K. (Org.). **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível?** Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013. 264 p. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/21069/1/artigo.pdf> Acesso: 17/12/2020.

NIELSEN, M.; OLE-KENNETH, M.; PLEJDRUP, M. Danish emission inventories for stationary combustion plants. Inventories until year 2011. No. 102. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 2014. Disponível em: < https://dce2.au.dk/pub/SR102.pdf >. Acesso em 17 de maio de 2020.

NISSEN, U.; HARFST, N. Shortcomings of the traditional “levelized cost of energy” [LCOE] for the determination of grid parity. **Energy** Volume 171, Março 2019. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.093 > Acesso: 5/5/2021.

ODSBRASIL. **Agenda 2030: Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: < https://odsbrasil.gov.br/ >. Acesso em 17 de maio de 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. The Sustainable Development Agenda. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/> Acesso: 09/01/2021.

OSA DEMOLITION. **Distribuidor Master autorizado 4MACHINES: Aplicações Tratores Agrícolas – Carretas**. Disponível em < http://www.4machines.com.br/aplicacoes-tratores-agricolas-carretas/ > Acesso: 03/01/2021.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC – sigla em inglês). Relatório das alterações climáticas 2013: a base científica, perguntas frequentes. Lisboa: Editora IPMA, 2013. Disponível em < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg1_spmportuguese.pdf > Acesso 06/03/2021.

PAZ, T. C. Boas Práticas na Agropecuária e na Industria. São Paulo – SP. Editora Senac, 2019. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?id=vUW8DwAAQBAJ&pg=PT23&dq=produ%C3%A7%C3%A3o+Pecu%C3%A1ria&hl=pt- >

BR&sa=X&ved=2ahUKEwja4Micq87tAhUWFLkGHUzGCCAQ6AEwA3oECAYQAg#v=onepage&q=produ%C3%A7%C3%A3o%20Pecu%C3%A1ria&f=false>. Acesso: 08/06/2020.

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; DEL OLMO, O. A.; ROALCABA, O. D. C. An economic holistic feasibility assessment of centralized and decentralized biogas plants with mono-digestion and co-digestion systems. **Renewable Energy**, 40 - 51, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.053> > Acesso: 03/01/2021.

PIVARI, M. **MaCAMP – Campismo: Geladeira a gás**. 2016. Disponível em < https://macamp.com.br/geladeira_a_gas/ > Acesso: 11/08/2020.

QGIS. **A liderança do SIG de código aberto**. Disponível em: < https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html >. Acesso em 17 de maio de 2021.

REIS, L. Produção de Biogás: o que são biodigestores e como produzir biogás? CIBiogás. Blog post, 2020. Disponível em: < <https://cibiogas.org/blog-post/producao-de-biogas-o-que-sao-biodigestores-e-como-gerar-biogas/> > Acesso: 14/04/2021.

RIBEIRO, E. M.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; SANTOS, I. F. S.; SAMPAIO, L. C.; SANTOS, T V. dos; SILVA, F. das G. B. da; SILVA, A. P. M.; FREITAS, J. V. R. de. GHG avoided emissions and economic analysis by power generation potential in pasture aviaries in Brazil. **Renewable Energy**. Volume 120, Maio 2018. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.005> > Acesso: 23/03/2021.

RICARDO, C. M. **Avaliação de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos**, 71 p. Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras. 2012. Disponível em < <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/410/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20-%20Avalia%20a7%20c3%a3o%20econ%20b4mica%20de%20biodigestor%20de%20fluxo%20tubular%20com%20sistema%20de%20recircula%20a7%20c3%a3o%20no%20tratamento%20de%20dejetos%20de%20su%20adnos.pdf> > Acesso: 16/09/2020.

ROLOFF, C. Apostila de Suinocultura. Centro Estadual de Educação Profissional – CEEPRO. São Leopoldo – RS, 2020. Disponível em < <http://www.ceepr.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Apostila-Su%20ADnos-Completa-2020.pdf> > Acesso: 09/08/2020.

SADHUKHAN, J.; MARTINEZ-HERNANDEZ, E.; AMEZCUA-ALLIERI, M. A.; ABURTO, J.; HONORATO S, J. A. Economic and environmental impact evaluation of various biomass feedstock for bioethanol production and correlations to lignocellulosic composition. **Bioresource Technology Reports**. Volume 7, Setembro 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100230> > Acesso: 16/05/2021.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v.96, p.335-344, 2005. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.04.003> > Acesso: 14/12/2020.

SANTOS, I. F. S; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L. Uma avaliação energética, econômica e ambiental das opções de aproveitamento energético do biogás de um aterro sanitário no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação, e Tecnologia Ambiental**. Volume 19, n.21 Maio, 2015. Disponível em < <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/16826/pdf> > Acesso: 23/03/2021.

SANTOS, I. F. S; CAMACHO, R.G.R.; TIAGO FILHO, G. L; BOTAN, A.C.B., VINENT, B.A. Energy potential and economic analysis of hydrokinetic turbines implementation in rivers: an approach using numerical predictions (CFD) and experimental data. **Renew. Energy**. Volume 143, Dezembro 2019. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.018> > Acesso: 23/05/2021.

SANTOS, I. F. S; VIEIRA, N. D. B.; NÓBREGA, L. G. B. de; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. **Resources, Conservation and Recycling**. Volume 131, Abril, 2018. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.012> > Acesso: 23/03/2021.

SANTOS, R. E. dos; SANTOS, I. F. S; BARROS, R. M.; BERNAL, A. P.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, F. das G. B. da. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. *Journal of Environmental Management*. Volume 231, 1 Fevereiro 2019. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.015> > Acesso: 23/03/2021.

SAPKOTA, T. B.; KHANAM, F.; MATHIVANAN, G. P.; VETTER, S.; HUSSAIN, S. G.; PILAT, A.-L.; SHAHRIN, S.; HOSSAIN, M. K.; SARKER, N. R.; KRUPNIK, T. J. Quantifying opportunities for greenhouse gas emissions mitigation using big data from smallholder crop and livestock farmers across Bangladesh. **Science of The Total Environment**. Volume 786, 10 Setembro 2021. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147344> > Acesso: 25/05/2021.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de animais podem causar poluição também nos solos de baixa fertilidade e nos solos profundos, como aqueles da região dos cerrados. Comunicado técnico: Embrapa. 2001. Disponível em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85133/1/DCOT-292.pdf> > Acesso: 29/03/2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). Bovinocultura: manejo e alimentação de bovinos de corte em confinamento. – Brasília: Senar, 2018. 56 p. Disponível em < <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/232-BOVINOCULTURA.pdf> > Acesso: 11/08/2020.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). Leite: ordenha mecânica de bovinos. 5. ed. (Coleção SENAR; 135) – Brasília-DF, 2016. 104 p.. Disponível em < <https://docplayer.com.br/140807088-Colecao-senar-135-leite-ordenha-mecanica-de-bovinos.html> > Acesso: 11/08/2020.

SHAPIRO, R. **Value of Carbon Market Update 2020**. Carbon Credit Capital. 2020. Disponível em: < <https://carboncreditcapital.com/value-of-carbon-market-update-2020/>> Acesso: 04/07/2021.

SILVA, A. C. G.; TREVISAN, G. M. Processo de produção e aproveitamento energético do biogás: uma revisão dos sistemas e tecnologias existentes no mercado. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.197-210, 2019. Disponível em < <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0017> > Acesso: 25/04/2021.

SILVA, F. M. da; JUNIOR, J. de L.; BENINCASA, M.; OLIVEIRA E. de. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. *Jaboticabal*, v.25, n.3, p.608-614, set./dez. 2005. Disponível em < <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n3/28055.pdf>> Acesso: 11/08/2020.

SILVA, L. A.; SANTOS, I. F. S; MACHADO, G. de O.; TIAGO FILHO, G. L; BARROS, R. M. Rice husk energy production in Brazil: An economic and energy extensive analysis. **Journal of Cleaner Production**. Volume 290, Março 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125188> > Acesso: 20/05/2021.

SILVA, T. R.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L; SANTOS, I. F. S. Methodology for the determination of optimum power of a Thermal Power Plant (TPP) by biogas from sanitary landfill. **Waste Management** Volume 65, Julho 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.018> > Acesso: 17/05/2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa: implicações para as metas de clima do Brasil. Observatório do Clima, 2020. Disponível em < https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf> Acesso: 06/04/2021.

STOECKER, W. F. e JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. McGraw-Hill do Brasil, 1985.

The Engineering ToolBox. Fuels - Higher and Lower Calorific Values 2003. 2020. < https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html >. Acesso 06/04/2021.

TZANIDAKI, C.; S, SIMITZIS P; ARVANITIS, K.; PANAGAKIS, P. An Overview of the Current Trends in Precision Pig Farming Technologies. **Livestock Science**. Disponível online 2 Maio 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>> Acesso: 05/05/2021.

UE – União Europeia. Diretiva 2009/28/EG do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu. *Jornal Oficial da União Europeia*, maio de 2009. Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF>> Acesso: 03/04/2021.

VACCINAR. **Eficiência produtiva na criação de suínos**: conheça as técnicas que grandes produtores têm aplicado. Disponível em: < <https://nutricaoesaudeanimal.com.br/criacao-de-suinos/>> Acesso: 14/12/2020.

WEBER, T. A. On the (non-)equivalence of IRR and NPV. **Journal of Mathematical Economics** Volume 52, Maio 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2014.03.006> > Acesso: 21/03/2021.

WELLINGER, A., MURPHY, J., BAXTER, D. (Ed.) **The biogas handbook: science, production and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013.

WILAWAN, W.; PHOLCHAN, P.; AGGARANGSI, P. Biogas Production from Co-digestion of Pennisetum Purpurem cv. Pakchong 1 Grass and Layer Chicken Manure Using Completely Stirred Tank. **Energy Procedia**, Volume 52, 216-222. 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.072> > Acesso: 03/01/2021.