

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE
POLÍTICAS PÚBLICAS

MARCELO ODORIZZI DE CAMPOS

IMPACTOS DO PROGRAMA ABC DE CRÉDITO RURAL NA
SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUÇÃO NO
ESTADO DE MINAS GERAIS

FRANCA
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE
POLÍTICAS PÚBLICAS

MARCELO ODORIZZI DE CAMPOS

IMPACTOS DO PROGRAMA ABC DE CRÉDITO RURAL NA
SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUÇÃO NO
ESTADO DE MINAS GERAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Análise de Políticas Públicas - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Franca, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Análise de Políticas Públicas.

Área de concentração:
Desenvolvimento social

Linha de pesquisa: Desenvolvimento urbano, rural, regional e ambiental

Orientadora: Prof. Dr. Regina Aparecida Leite de Camargo

FRANCA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

C198i	Campos, Marcelo Odorizzi de Impactos do Programa ABC de Crédito Rural na Sustentabilidade dos Sistemas Agrícolas de Produção no Estado de Minas Gerais / Marcelo Odorizzi de Campos. -- Franca, 2023 73 p. : il., tabs., mapas Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Franca Orientadora: Regina Aparecida Leite de Camargo 1. Sensoriamento remoto. 2. Políticas Públicas. 3. Desenvolvimento Sustentável. 4. Uso da Terra. 5. Credito rural. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Franca. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Buscando destacar os potenciais impactos deste trabalho, torna-se importante ressaltar o devido alinhamento deste estudo aos acordos e políticas, globais e nacionais, envolvendo o tema. Como aquelas referentes a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), e principalmente, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODSs), sobretudo, o 13º objetivo, “Ação Contra a Mudança Global do Clima”.

Alinhar aos ODSs as questões envolvendo as mudanças globais do clima, se faz necessário. Dessa maneira, a fim de integrar as dimensões sociais, ambientais e econômicas aos aspectos do tema de pesquisa aqui proposto, torna-se pertinente destacar as conexões existentes entre a política pública Programa ABC, o Uso e ocupação do Solo e a adoção de tecnologias de mitigação e resiliência climática, aos objetivos das Nações Unidas.

Partindo da dimensão ambiental, pode-se destacar o Consumo e Produção Responsáveis (ODS 12) e Ação Contra a Mudança Global do Clima (ODS 13) como aqueles mais relacionados ao tema de pesquisa proposto. Na dimensão social, destaca-se Fome Zero e Agricultura Sustentável (ODS 2) como o mais relacionado a pesquisa. Sobre a dimensão econômica, destacando-se Trabalho Decente e Crescimento Econômico (ODS 8) como o objetivo economicamente mais alinhado ao tema proposto.

Ampliar os conhecimentos sobre o impacto do poder público na expansão de métodos mais sustentáveis de uso e ocupação do solo, contribui para o fortalecimento de formas de produção mais responsáveis, alinhadas a dimensão ambiental dos ODSs. Além de torná-los mais seguros para suportar as futuras adversidades do clima, amplia também sua capacidade de lucro e ganho de escala, alinhando-se agora as dimensões sociais e econômicas dos ODSs. Isso porque, ampliar a segurança econômica da atividade, bem como, reduzir os custos de produção por unidade de área produzida, impactando diretamente a lucratividade da atividade, e, portanto, os custos repassados ao consumidor. Diminuir os custos de produção, reduz os preços nas prateleiras, significando mais acesso a bens e serviços pelas classes mais baixas da sociedade.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Seeking to highlight the potential impacts of this work, it is important to emphasize the due alignment of this study with global and national agreements and policies involving the theme. Such as those relating to the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), and mainly, the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), above all, the 13th objective, “Action against Global Climate Change”.

Align issues involving global climate change with the SDGs, if necessary. Thus, in order to integrate the social, environmental and economic dimensions to the aspects of the research theme proposed here, it is pertinent to highlight the existing connections between the ABC Program public policy, the Use and occupation of the Land and the adoption of technologies of mitigation and climate resilience, to the objectives of the United Nations.

Starting from the environmental dimension, one can highlight Responsible Consumption and Production (SDG 12) and Action Against Global Climate Change (SDG 13) as those most related to the proposed research topic. In the social dimension, Zero Hunger and Sustainable Agriculture (SDG 2) stand out as the most related to research. On the economic dimension, highlighting Decent Work and Economic Growth (SDG 8) as the objective economically most aligned with the proposed theme.

Expanding knowledge about the impact of public authorities on the expansion of more sustainable methods of land use and occupation, contributes to strengthening more responsible forms of production, aligned with the environmental dimension of the SDGs. In addition to making them safer to withstand future climate adversities, it also expands their capacity for profit and gains in scale, now aligning the social and economic dimensions of the SDGs. This is because, increasing the economic security of the activity, as well as reducing production costs per unit of area produced, directly impacting the profitability of the activity, and therefore, the costs passed on to the consumer. Decreasing production costs lowers prices on shelves, meaning more access to goods and services by the lower classes of society.

MARCELO ODORIZZI DE CAMPOS

**IMPACTOS DO PROGRAMA ABC DE CRÉDITO RURAL NA
SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUÇÃO NO
ESTADO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Análise de Políticas Públicas - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Franca, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Análise de Políticas Públicas.

Área de concentração: Desenvolvimento social

Linha de pesquisa: Desenvolvimento urbano, rural, regional e ambiental

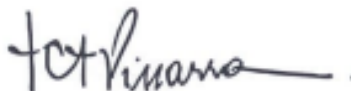
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Profº Drº Regina Aparecida Leite de Camargo
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias



Orientador: Profº Drº Camila Fernanda Bassetto Sampaio
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
Faculdade de Ciências e Letras



Orientador: Profº Drº Teresa Cristina Tarle Pissarra
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

DEDICATORIA

Dedico a meu pai José Valentim de Campos, minha mãe Alba Tereza Odorizzi e meus irmãos Matheus Odorizzi de Campos e Luan Alberto Odorizzi dos Santos. Aqui expresso meu sincero carinho ao Prof. Dr. Luan Odorizzi por ser o primeiro graduado, mestre e doutor de toda a minha família, o pioneiro da ciência que abriu as portas para novos horizontes em minha carreira profissional. Dedico também de forma carinhosa à minha parceira de vida Dr^o Andreísa Flores Braga.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais por todo o apoio. Este título de mestre também é uma conquista sua. Obrigado pelas vezes que você lutou, sorriu e chorou comigo, nos dias de luta e nos dias de glória. Declaro também imensa gratidão aos meus irmãos.

Ao Matheus Odorizzi de Campos pela simplicidade e carisma, e ao Luan Alberto Odorizzi dos Santos pela relevância em minha vida profissional e pessoal. Agradeço especialmente, com muita sinceridade, ao meu orientador Prof. Dr. Newton La Scala Jr.

Ressalto que foi muito gratificante trabalhar com alguém que maneja tão bem o brilhantismo científico e a humanidade ao mesmo tempo. Aqui, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também ao corpo docente da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus Jaboticabal, juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Agropecuária), pelo auxílio oferecido e pelas aulas de excelente qualidade, que proporcionaram excelentes condições para o meu processo de aprendizado.

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. Portanto, também gostaria de agradecer à CAPES pelo financiamento deste estudo.

IMPACTOS DO PROGRAMA ABC DE CRÉDITO RURAL NA SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Resumo: Globalmente, a agricultura é responsável por 11%, 47% e 58% do total das emissões antrópicas de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente. No Brasil, as alterações no uso da terra e florestas são frequentemente responsáveis por mais de 70% das toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂eq.) emitidas. Buscando reverter este cenário o Brasil, em acordos internacionais firmados em 2009 e 2015, comprometeu-se a reduzir emissões de gases de efeito estufa em 38,9% até 2020, e recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030. Para cumprir essas metas, o governo federal criou, em 2011, o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), para financiar tecnologias de mitigação e adaptação às alterações climáticas. Utilizando como recorte espacial o estado de Minas Gerais, a hipótese desta pesquisa compreende que o crédito rural do Programa ABC transformou o uso e ocupação do solo e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), incentivando sistemas agropecuários sustentáveis para reduzir a pegada de carbono da agricultura brasileira. Assim, utilizando diferentes recortes temporais, este trabalho teve como objetivo: (i) estabelecer relações entre o fluxo de crédito rural do Programa ABC e características agropecuárias dos municípios de Minas Gerais; e (ii) determinar o impacto do Programa na adoção de tecnologias de mitigação e uso do solo, bem como no CO₂ equivalente (tCO₂eq.) emitido pelos municípios. Este trabalho utilizou análises de estatística descritiva, regressão linear, correlação Spearman e teste de hipótese. Baseando-se em ferramentas e dados de sensoriamento remoto, valores e contratos do Programa ABC, dados do Censo Agropecuário de 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e estimativas de tCO₂eq. Os resultados responderam o primeiro objetivo, demonstrando que o crédito é acessado principalmente por municípios com maiores concentrações de pastagens degradadas, seguido por municípios produtores de Silvicultura e Bovinos. Para o segundo objetivo, observou-se que o crédito do Programa impactou a redução de pastagens de intermediária degradação, e causou o incremento de Bovinos e pastagens de boa qualidade. Entretanto, não foi observado impacto sobre as tCO₂eq. emitidas pelos municípios em Minas Gerais. Concluiu-se que o acesso ao Programa teve um impacto significativo no uso e ocupação do solo através da adoção de métodos de produção agropecuário mais sustentáveis, entretanto, não foi observado impacto da redução de GEEs.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Política pública. Desenvolvimento Sustentável. Uso da Terra. Pastagens Degradadas. Crédito Rural.

IMPACTS OF THE ABC RURAL CREDIT PROGRAM ON THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS IN THE STATE OF MINAS GERAIS

Resumo: Globally, agriculture is responsible for 11%, 47% and 58% of total anthropogenic CO₂, CH₄ and N₂O emissions, respectively. In Brazil, changes in land use and forests are often responsible for more than 70% of tons of CO₂ equivalent (tCO₂eq.) emitted. Seeking to reverse this scenario, the Brazil in international agreements signed in 2009 and 2015, committed itself to reducing greenhouse gas emissions by 38.9% by 2020, and recovering 15 million hectares of degraded pastures by 2030. In order to achieve these goals, the federal government created, in 2011, the Low Carbon Agriculture Program (ABC) to finance technologies for mitigating and adapting to climate change. Using the state of Minas Gerais as a spatial cut, the hypothesis of this research understands that the rural credit of the ABC Program has transformed the use and occupation of the land and the emissions of Greenhouse Gases (GHGs), encouraging sustainable agricultural systems to reduce the footprint of carbon from Brazilian agriculture. Thus, using different time frames, this work aimed to: (i) establish relationships between the ABC Program rural credit flow and agricultural characteristics of the municipalities of Minas Gerais; and (ii) determine the Program's impact on the adoption of mitigation technologies and land use, as well as on CO₂ equivalent (tCO₂eq.) emitted by municipalities. This work used descriptive statistics analysis, linear regression, Spearman correlation and hypothesis test. Based on remote sensing tools and data, ABC Program values and contracts, data from the 2017 Agricultural Census by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and tCO₂eq. estimates. The results responded to the first objective, demonstrating that credit is accessed mainly by municipalities with higher concentrations of degraded pastures, followed by municipalities that produce Silviculture and Bovine. For the second objective, it was observed that the Program's credit had an impact on the reduction of pastures with intermediate degradation and caused an increase in Cattle and good quality pastures. However, no impact on tCO₂eq. emitted by municipalities in Minas Gerais was observed. It was concluded that access to the Program had a significant impact on land use and occupation through the adoption of more sustainable agricultural production methods, however, no impact was observed in the reduction of GHGs.

Key words: Remote sensing. Public policy. Sustainable development. Land Use. Degraded Pastures. Rural credit.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. O crédito rural do século XX e seu papel na modernização agrícola do Brasil 4	
2.2. Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono): os novos desafios do crédito rural no Brasil	7
2.3. Limitações do Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono)	9
3. OBJETIVO	12
3.1. Objetivos específicos.....	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1. Área de Estudo.....	13
4.2. Aquisição e tratamento dos valores de crédito rural, tecnologias de mitigação e uso e ocupação do solo	14
4.2.1. Variáveis estudadas.....	14
4.2.2. Crédito Rural do Programa ABC.....	16
4.2.3. Tecnologias de Mitigação.....	17
4.2.4. tCO ₂ equivalente e Produto Interno Bruto (PIB) da Agropecuária.....	18
4.2.4. Uso e Ocupação do Solo: Qualidade do pasto.....	19
4.3. CO ₂ Equivalente da Agricultura (tCO ₂ eq.): Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases com Efeito de Estufa (SEEG Brasil)	20
4.3.1. CO ₂ equivalente (t) de Uso e Ocupação do Solo (Mudança do Uso do Solo + Pecuária).....	21
4.3.2. Coleta de dados xCO ₂ (ppm) e análise geoestatística de Krigagem.....	23
4.3.3. Espacialização geoestatística dos valores de xCO ₂ por Krigagem	24
4.4. Abordagem temporal fixa e contínua: Crédito rural, Tecnologias de Mitigação e Uso do Solo	26
4.4.1. Abordagem Temporal Fixa: 2017.....	26
4.4.2. Abordagem Temporal Contínua: 2013 - 2020.....	27
4.4.3. Abordagem Temporal Contínua da Agricultura em Matéria de Emissões de Carbono: 2015 - 2019.....	27
4.5. Fluxograma e Análise de Dados Estatísticos	28
5. RESULTADOS.....	30
5.1. Fluxo de crédito do Programa ABC em função do Uso e Ocupação do solo e Tecnologias de Mitigação em Minas Gerais: Abordagem Temporal Fixa - 2017	30
5.2. Impacto dos Recursos do Programa ABC na Adoção de Sistemas Agropecuários Sustentáveis em Minas Gerais: Abordagem temporal contínua	35

5.3. Impacto do crédito do Programa ABC na emissão de carbono do Uso e Ocupação do Solo: Equivalente a CO ₂ da Agricultura (tCO ₂ eq.).....	37
6. DISCUSSÃO	46
6.1. Quais as principais características agrícolas responsáveis por impactar o fluxo de crédito do Programa ABC: Abordagem temporal fixa?	46
6.2. O crédito rural do Programa ABC impactou a sustentabilidade do uso e ocupação do solo em Minas Gerais, Brasil?	50
6.3. O crédito rural do Programa ABC fez reduzir as emissões de tCO ₂ eq. Minas Gerais, Brasil?	54
7. CONCLUSÕES.....	65
7.1 Impactos do Crédito sobre o uso e ocupação do solo.....	65
7.2. Impacto do Crédito sobre a emissão de CO ₂ equivalente	66
AGRADECIMENTOS	67
8. REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estado de Minas Gerais, Brasil. Municípios do estado segmentados segundo o acesso ao Programa ABC, classificados pela diferença interquartil. .14	14
Figura 2: Pontos de coleta de xCO ₂ nas regiões administrativas do estado de Minas Gerais, Brasil.....23	23
Figura 3: Fluxograma para coleta e processamento dos dados: abordagens, preparação, tratamento e manipulação estatística.29	29
Figura 4. Análise de Correlação linear de Spearman ($p < 0,05$).31	31
Figura 5: Boxplots e regressão linear significativos quando: $p < 0.005 = "$ *"; $p < 0.01 = "$ **"; e $p < 0.001 = "$ ***".33	33
Figura 6: Regressão linear significativa quando: $p < 0,005 = "$ *"; $p < 0,01 = "$ **"; e $p < 0,001 = "$ ***".36	36
Figura 7: A correlação linear de Spearman ($p < 0,05$) de 2015 a 2019.39	39
Figura 8: Boxplots para as variáveis estudadas, entre as Classes de Tempo de Acesso (Anos) e de Emissões (Baixa, Média e Alta). Teste de hipótese Duncan ($p < 0,05$), significativamente diferente quando representado por letras diferentes.42	42
Figura 9: Gráfico de Regressão Linear, significativo quando representado por: $p < 0,005 = "$ *"; $p < 0,01 = "$ **"; e $p < 0,001 = "$ ***".45	45
Figura 10: Estado de Minas Gerais, Brasil. Período de tempo representado para o ano 2013.....52	52
Figura 11: Mapas de xCO ₂ (ppm) atmosférico de Minas Gerais 2015 - 2019, a partir de análises geo-especializadas por Krigagem, para médias por pontos de georreferencia de coleta do satélite OCO-2 (NASA).62	62
Figura 12: Gráficos de Boxplots para concentrações de CO ₂ na coluna atmosférica (xCO ₂ ppm), para anos e regiões administrativas de Minas Gerais.63	63

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Crédito concedido de 2013 a 2017 por subprogramas, regiões e aptidão agrícola, em relação ao total do Brasil.....	11
Tabela 2. Variáveis estudadas por classe, fontes dos dados, unidade e as diferentes abordagens adotadas.	15
Tabela 3. Apresentação dos atributos necessários para o desenvolvimento da espacialização por Krigagem	25
Tabela 4. Valores de Boxplots para as variáveis estudadas.	35
Tabela 5. Coeficientes e Descritivos atributos e de análise de Krigagem xCO ₂ (ppm), a partir de georeferências Média: Assimetria de Skewness, Coeficiente de Variável (CV), Erro de Raiz Média Quadrática (RMSE), Modelo Exponencial (Exp.), e Dependência Espacial de (Cambardella et al., 1994).....	60

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) excederam os níveis pré-industriais em 144%, 256% e 121%, respectivamente (IPCC, 2022). Globalmente, a agricultura é responsável por 11%, 47% e 58% do total das emissões destes mesmos gases (IPCC, 2022). Além disso, de acordo com as projeções feitas pela IPCC (2017), o sector agrícola será significativamente afetado pelas mudanças no clima global, necessitando adaptar-se rapidamente à instabilidade climática, bem como, continuar aumentando a produtividade em resposta a uma população global crescente (DANGAL et al., 2017; IPCC, 2017, 2021, 2022).

Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022) no Brasil a contribuição da agricultura e da alteração do uso da terra na emissão de gases com efeito de estufa (GEE) é ainda mais expressiva e as alterações no uso do solo e florestas são responsáveis por mais de 70% das emissões equivalentes de CO₂ do país. Agravando estes valores estão 97,7 milhões de hectares (cerca de 58,8% do total) de pastagens do país, apresentando algum grau de degradação (MAPBIOMAS, 2022; SOUZA et al., 2020). Para além de emitir maiores quantidades de CO₂ (ABDALLA et al., 2018; FIGUEIREDO et al., 2017), as pastagens degradadas representam uma oportunidade perdida, tanto pela baixa capacidade de captura de CO₂ atmosférico, como pelo estoque de carbono no solo, gradualmente perdido para a atmosfera (CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022).

Procurando reduzir as emissões, o Brasil na COP 15 da UNFCCC em Copenhaga (15ª Conferência das Partes no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas) comprometeu-se a reduzir as emissões projetadas para 2020 em 36,1% e 38,9% (CONCEIÇÃO et al., 2017). Durante a COP 21 da UNFCCC em Paris, na NDC (Nationally Determined Contributions), o país comprometeu-se também a recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 (CONCEIÇÃO et al., 2017).

A fim de fazer cumprir os compromissos assumidos nas COP 15 e 21, o governo brasileiro publicou planos de execução destinados a adaptar e mitigar as

emissões de alguns sectores da economia (BARROS, 2017; RODRIGUES et al., 2016). Assim, em 2010 foi publicado o Plano Setorial para a Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas (Plano ABC), para impulsionar a agricultura nacional a fim de torná-la mais sustentável (CONCEIÇÃO et al., 2017; RODRIGUES et al., 2016).

Este Programa foi desenvolvido para financiar sistemas de produção agrícola sustentáveis, através da combinação de produtividade e conservação, utilizando métodos mais eficientes na manutenção e/ou fixação do carbono no solo (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; NEWTON et al., 2016). Como objetivos, o Programa destaca seis, sendo estes: (i) recuperação de pastagens degradadas; (ii) promoção da adopção de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta; (iii) expansão de áreas de Plantio Direto; (iv) incentivo à utilização de Fixação Biológica de Nitrogênio; (v) ampliação de áreas de Florestas Plantadas; e (vi) assistência a projetos de Tratamento de Resíduos Animais (BARROS, 2017; RODRIGUES et al., 2016).

De acordo com Rodrigues et al. (2016) a distribuição dos recursos não tem sido uniforme, com recursos especialmente direcionados para a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD) e fortemente concentrados no Centro-Sul do país (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018a; IVASKO JÚNIOR et al., 2020). Vale destacar que o volume de pastagens degradadas é um problema ambiental importante no país, no entanto, as regiões economicamente menos desenvolvidas com problemas ambientais consideráveis não têm sido priorizadas pelo Programa (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

Segundo Gil et al. (2016), dificuldades por parte dos agricultores no acesso ao Programa foram observadas. No estado de Mato Grosso, os produtores alegaram problemas na aquisição de crédito, como: burocracia; baixo interesse no financiamento por parte dos financiadores; falta de conhecimento das diferentes questões envolvidas no processo, por parte dos agentes bancários; e o elevado número de requisitos para adesão ao Programa (GIL; GARRETT; BERGER, 2016).

Desta maneira, um importante montante de recursos do ABC está concentrado no Centro-Sul, principalmente no estado de Minas Gerais (BANCO

CENTRAL, 2022). Além do elevado nível de acesso aos recursos, este estado também se destaca pelos problemas ambientais presentes no território (BANCO CENTRAL, 2022; BARROS, 2017; RODRIGUES et al., 2016).

De acordo com o Banco Central (2022), o Estado de Minas Gerais foi o segundo maior demandante dos recursos do Programa em 2019 e 2020, cerca de 15,1% do total. Em relação ao número de contratos celebrados, Minas Gerais está em primeiro lugar, com 979 contratos para o mesmo período (2019 e 2020) (BANCO CENTRAL, 2022; BARROS, 2017). Quanto às áreas enquadradas pelos contratos, Minas Gerais destaca-se em terceiro lugar, com cerca de 109.000 hectares, atrás apenas dos estados de Mato Grosso e Rio Grande do Sul (CENSO AGROPECUARIO, 2017).

A agricultura mineira também se destaca por possuir 20.504.405 hectares de pastagens e cerca de 508.702 unidades produtivas, 12,7% dos estabelecimentos no país (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; CENSO AGROPECUARIO, 2017; IBGE | PAM, 2022; IBGE, 2020). O Estado também possui 385.488 estabelecimentos com criação de bovinos, que representam cerca 11,33% de todo o país (CENSO AGROPECUARIO, 2017). Junto a estes valores, a produção leiteira do estado tem 216.460 unidades e 2.965.954 cabeças de bovinos para a produção leiteira, 25,8% das cabeças em relação ao total no Brasil (CENSO AGROPECUARIO, 2017).

Devido à extensão territorial do Brasil e as grandes áreas de pastagens no seu território, o uso de sensoriamento remoto vem se destacando como ferramenta indispensável para compreender o Programa (AZEVEDO et al., 2018; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GIL; GARRETT; BERGER, 2016; SOUZA et al., 2020; VALLE JÚNIOR et al., 2019). Esta ferramenta ganhou destaque na determinação da quantidade e qualidade das pastagens no país (PARENTE et al., 2019; VALLE JÚNIOR et al., 2019), tornando-se uma alternativa para a monitorização dos gases com efeito de estufa associados à utilização e ocupação do solo (CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; DA COSTA et al., 2021; KENEA et al., 2021; MORAIS FILHO et al., 2021; SEEG, 2022).

De acordo com Dias-filho (2017), o processo de degradação de pastagens é contínuo e progressivo. Assim, partindo da qualidade vegetativa das pastagens para contabilizar os estágios de degradação, Parente et al. (2019) utilizou

sensoriamento remoto e Índices de Vigor de Prados (PVI) para classificar as pastagens brasileiros em três categorias principais: Pastagens Degradadas; Pastagens de Degradação Intermédia; e Pastagens Não Degradadas (PARENTE et al., 2019; VALLE JÚNIOR et al., 2019). Estudos como estes demonstram a importância do sensoriamento remoto para o monitoramento e análise dos impactos das políticas públicas sobre o uso e ocupação do solo no Brasil (GIL; GARRETT; BERGER, 2016; OSTLE et al., 2009).

Assim, partindo da relevância do uso de tecnologias de sensoriamento remoto para avaliar o impacto do Programa ABC (BARROS, 2017; PARENTE et al., 2019) e os objetivos delimitados de transformação das bases da produção agropecuária brasileira, através de uma política pública – no caso a política agrícola de crédito rural (CARRER et al., 2020; VINHOLIS et al., 2021), este estudo tomou como pergunta motivadora: “O mesmo crédito rural responsável pela modernização da agropecuária brasileira no século XX, será capaz agora de ampliar o uso de tecnologias de mitigação de emissões e adaptação climática, fazendo mais sustentáveis as bases produtivas da agropecuária brasileira?”

Portanto, utilizando como recorte espacial o estado de Minas Gerais, a hipótese desta pesquisa compreende que – o crédito rural do Programa ABC impactou no uso e ocupação do solo e nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), incentivando a adoção de sistemas agropecuários sustentáveis para reduzir a pegada de carbono da agricultura do estado de Minas Gerais. Assim, utilizando diferentes recortes temporais, este trabalho teve como objetivo: (i) estabelecer relações entre o fluxo de crédito rural do Programa ABC e características agropecuárias dos municípios de Minas Gerais; e (ii) determinar o impacto do Programa na adoção de tecnologias de mitigação e uso do solo, bem como no CO₂ equivalente (tCO₂eq.) emitido pelos municípios.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O crédito rural do século XX e seu papel na modernização agrícola do Brasil

Fortalecido pelo crédito rural, relevante entre os anos de 1930 e 1960, o desenvolvimento capitalista brasileiro passou pela transição de uma economia exclusivamente agrária para transformações industriais em sua estrutura (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTOS, 1988). O desenvolvimento agrícola da

época foi fortemente influenciado pela lógica da Revolução Industrial, que se dissipou pelos países europeus a partir do século XVIII (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016).

Tal influência foi relevante para o desenvolvimento da lógica produtivista no Brasil, e ofereceu uma nova forma de se pensar a alimentação e a agricultura (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). A modernização da agricultura brasileira originou-se a partir da divisão das atividades econômicas do país. Baseando-se nos princípios da Revolução Verde, o Brasil transformou a agricultura desenvolvida em seu território em um processo industrial (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTOS, 1988).

Esse formato demonstrou ser importante para as transformações tecnológicas do país, fortalecendo a adoção de inovações advindas do melhoramento genético das culturas agrícolas, insumos químicos para o solo, manejo cultural, técnicas de preparo do solo e mecanização (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012). Atividades de pesquisa agropecuária, assistência técnica e o seguro agropecuário complementaram as ações conjuntas ligadas a modernização do setor (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016).

Este cenário representou o estágio de fusão entre setores, produzindo uma mistura entre agricultura e os pátios de produção em massa das indústrias, transformando a agricultura em um setor intermediário, agora um consumidor de bens industriais e fornecedor de matéria prima para as indústrias processadoras (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). Essa fusão teve reflexo positivo na produtividade brasileira, principalmente a partir de 1964, com a criação do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016).

Funcionando como impulsionador desse processo, o crédito rural atuou como mecanismo estatal para fortalecer o processo de modernização agrícola (SANTOS, 1988). Objetivando-se, sobretudo, alavancar a eficiência dos produtos destinados à exportação, tais subsídios contribuíram para aumentar a desigualdade no campo, principalmente quando passaram a priorizar os médios e grandes produtores rurais do país, a fim de torna-los ainda mais tecnificados e produtivos (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTOS, 1988).

O passo inicial para a criação do crédito rural se deu a partir da carteira de Crédito Agrícola e Industrial do Banco do Brasil (CREAI) em 1937, entretanto, contou com sérios problemas para o endereçamento dos recursos disponíveis (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). Em 1952, o CREAI sofreu amplas transformações, e criou diferentes linhas de empréstimos e condições especiais para os pequenos produtores, bem como para o financiamento da comercialização, repasse para a construção de escolas em áreas rurais e cooperativas, e introduziu empréstimos fundiários (SANTOS, 1988).

A partir de 1953, ocorreu uma rápida expansão dos créditos agrícolas (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTOS, 1988). Ainda usando as bases do CREAI, esses recursos passaram a destinar-se ao financiamento com juros baixos e com prazos de pagamento alongados (SANTOS, 1988). Essa iniciativa fortaleceu a atualização da produção agrícola da época, modificando os métodos de produção, impulsionando principalmente compras de sementes, adubos químicos sintéticos, pesticidas e outros produtos agropecuários (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012).

Essa fase permaneceu até o final da década de 70, sendo a principal característica desse período a forte participação do poder público como condicionador das diretrizes das políticas agrícolas (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). Entretanto, durante a crise econômica dos anos 80, o crédito rural perdeu força e o setor agropecuário deixou de ter o apoio das políticas públicas setoriais (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016).

Os únicos aportes que restaram foram pontuais, em alguns segmentos do setor agropecuário (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). Essa postura de afastamento do Estado ficou ainda mais forte nos anos 90, principalmente graças as políticas liberais de abertura da economia (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016). A quebra das barreiras de importação tornou o agronegócio um setor distante das políticas públicas, quando se compara com períodos anteriores (BELIK; PAULILLO; VIAN, 2012; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016).

2.2. Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono): os novos desafios do crédito rural no Brasil

Além de produtiva, técnica e importante no comércio internacional, a agricultura brasileira também é o setor que mais impacta os ecossistemas no país (AZEVEDO et al., 2018; DIAS-FILHO, 2017; PARENTE et al., 2019). A política pública de crédito rural desenvolvida no século passado, fundamental para alicerçar a base tecnológica da produção agropecuária atual, também fez dela a principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE), poluentes e desmatamento do Brasil (AZEVEDO et al., 2018; DE OLIVEIRA BORDONAL et al., 2013; LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SEEG, 2022).

A inclinação global para formas de produção mais amigáveis aos ecossistemas, pressionaram a criação de ambiciosos planos nacionais para alinhar-se às demandas internacionais de redução dos impactos antropológicos no clima global (CONCEIÇÃO et al., 2017; MENDONÇA et al., 2020). Para tanto, necessitando colocar esses planos em prática, o Brasil publicou alguns acordos e políticas públicas importantes para atingir seus objetivos (ERI et al., 2020; MENDONÇA et al., 2020). Dessa maneira, torna-se importante destacar os principais acordos e compromissos firmados pelo governo brasileiro para reduzir sua parcela de responsabilidade no aquecimento global do planeta (BARROS, 2017; CONCEIÇÃO et al., 2017; ERI et al., 2020).

Desde o início dos anos 90, o Brasil vem adotando medidas, ainda que pontuais, para mitigar os efeitos da produção agropecuária intensiva. Esse posicionamento teve sua primeira expressão na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), no estado do Rio de Janeiro, em 1992 (CONCEIÇÃO et al., 2017; MENDONÇA et al., 2020). A conferência marcou as discussões em torno das possíveis ações, em todos os níveis, para conciliar o uso sustentável dos recursos naturais com o desenvolvimento socioeconômico (CONCEIÇÃO et al., 2017; MENDONÇA et al., 2020).

Outra iniciativa de destaque trata-se da tentativa em controlar os ataques a Amazônia (DIAS-FILHO, 2017; NEWTON et al., 2016; NUMATA et al., 2007; RANGEL PINAGÉ et al., 2022). Isso se deu graças ao trabalho do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que desde 2004 passou a disponibilizar

publicamente dados de monitoramento a partir de imagens de satélites, permitindo que todos os setores da economia e da sociedade pudessem acompanhar as taxas de desmatamento na região (<http://inpe-em.ccst.inpe.br/>) (MAPBIOMAS, 2022; SEEG, 2022). Como resultado dessa abertura ocorreu um decréscimo da taxa de desmatamento, passando de 18.309 km² entre 1990 e 2004, para cerca de 8.877 km² entre 2005 e 2019 (MAPBIOMAS, 2022; MENDONÇA et al., 2020). No ano de 2020 os valores chegaram a 9.121 km², com projeções de desmatamento crescentes até o presente momento (MAPBIOMAS, 2022).

Para fazer cumprir os compromissos assumidos na COP 15, o governo brasileiro elaborou diversos planos de adaptação e mitigação para alguns setores da economia (CONCEIÇÃO et al., 2017; ERI et al., 2020). O potencial desses planos é de aproximadamente 150 milhões de mg CO₂, sem considerar o potencial de remoção de carbono das florestas (CONCEIÇÃO et al., 2017). Ainda no ano de 2009, foi criada a Lei 12.187, instituindo a Política Nacional de Mudança do Clima (CONCEIÇÃO et al., 2017). Em 2010, foi desenvolvido o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC), a partir do art. 3º do Decreto no 7.390 (CONCEIÇÃO et al., 2017). Assim, como política de crédito rural direcionada ao financiamento de uma série de sistemas de produção de baixo impacto ambiental, foi criado em 2011 o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) (BARROS, 2017; RODRIGUES et al., 2016).

Das sete frentes de financiamento propostas para o Programa ABC, seis delas estão relacionados à técnicas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa: Sistema de Plantio Direto (SPD) e Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD); Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); Florestas Plantadas (FP); e Tratamento de Dejetos Animais (TDA), e o um último objetivo relacionado a ações de adaptação às mudanças climáticas (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; RODRIGUES et al., 2016).

O Programa ABC foi instituído pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), e inicialmente sua adesão foi baixa e lenta, com desembolsos menores que 25% do total disponível, e por consequência poucos projetos foram aprovados (BARROS, 2017; RODRIGUES et al., 2016). Os produtores possuíam limites de crédito de R\$1,00 milhão, a taxa de juros de 5,5%

ao ano e períodos de pagamento de 5 a 15 anos (IVASKO JÚNIOR et al., 2020; RODRIGUES et al., 2016).

O crédito rural foi, em grande parte, responsável pela modernização da agricultura brasileira via adoção dos pacotes tecnológicos da revolução verde no decorrer do século passado, e continua sendo uma importante ferramenta para delimitar direções para o desenvolvimento da agricultura ainda nos dias de hoje (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTOS, 1988). Nesse sentido, torna-se interessante saber se esse mecanismo público continua sendo capaz de promover o desenvolvimento agrícola nacional, mas agora tomando como objetivo a sustentabilidade dos sistemas agropecuários de produção.

2.3. Limitações do Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono)

Os estudos sobre a efetividade do Programa são limitados (CARRER et al., 2020). Estudos como os de Gianetti et al. (2021) e Gomes et al. (2018), oferecem importantes noções sobre a relação entre o volume de crédito oferecido pelo Programa e os aspectos produtivos das regiões aonde esse crédito é direcionado, mas não trabalham a contribuição do Programa na minimização das emissões de GEEs.

Segundo Gomes et al. (2018) dos R\$ 3 bilhões ofertados pelo Programa para o Brasil, apenas 74,6% foram acessados, dialogando com os problemas encontrados no Mato Grosso, e demonstrando também o quanto o Programa está abaixo das metas almejadas para o ano de 2020 (GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

Segundo Barros (2017), Rodrigues et al. (2016) e Leal (2016), a distribuição dos recursos e contratos do Programa ABC reforçam a aquisição desuniforme dos subprogramas feita pelos produtores, predominando principalmente contratos e recursos direcionados a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD) (BARROS, 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021). Problemas ambientais envolvendo o grande volume de áreas de pastagens em condições de degradação não são novidades (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021). Propor alternativas para os problemas ambientais vivenciados pelo Brasil quase sempre passa pela tentativa de minimizar ou recuperar áreas de pastagens degradadas (GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018).

Como mencionado anteriormente, outro importante fator observado foi o maior fluxo de recursos no Centro-Sul do país (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021). Partindo desse cenário, Barros (2017) considera evidente que a conceituação dos critérios e a determinação de regiões necessitadas de atenção são aspectos de melhoria para o Programa. A recuperação de áreas de pastagens degradadas é o problema central, e poderia ser considerada como o foco do Programa ABC (BARROS, 2017), entretanto, outros direcionamentos e incentivos devem ser adotados (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

Algumas abordagens demonstram que, apesar da importância da recuperação de pastos degradados, a maior concentração dessas áreas está situada no Cerrado nordestino e no Nordeste litorâneo, entretanto, os aportes do Programa estão mais concentrados no Sudeste e no Centro-Oeste (BARROS, 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; IVASKO JÚNIOR et al., 2020). Em relação ao número de contratos, observa-se que a partir de 2017 o Norte supera o Centro-Oeste, mas nada se altera nos níveis de contratos do Nordeste (BANCO CENTRAL, 2022; BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; IVASKO JÚNIOR et al., 2020).

Segundo a análise feita por Barros (2017), Gomes et al. (2018) e Gianetti et al. (2021), pode-se observar que há uma elevada correlação, em nível estadual, entre a produção agropecuária e os contratos do Programa. Entretanto, por outro lado, foi determinado que há baixa relação entre os empréstimos e as regiões com grandes áreas de pastagens degradadas (BARROS, 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GOMES; ARAÚJO, 2018a; MAPBIOMAS, 2022).

O coeficiente de correlação baixo representa, nesse caso, que os estados prioritários para a recuperação de pastos em condições de degradação não são protagonistas na aquisição de recursos (GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019). Isso indica também, que os recursos do Programa estão sendo direcionados sobretudo para regiões aonde a atividade agropecuária já está previamente consolidada, e não aonde os problemas ambientais são mais evidentes (GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018a).

A Tabela 1 foi desenvolvida por Gianetti et al. (2021) e reorganizado neste trabalho, a fim de demonstrar apenas as concentrações de crédito (%) direcionado para municípios com aptidão agrícola Alta (A), Média (B) e Baixa ou Muito Baixa (CD), segmentado por região. Os tipos de projeto estudados por Gianetti et al. (2021) foram: Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD); Sistema de Plantio Direto (SPD); Integração Lavoura Pecuária Floresta (iLPF); Floresta Plantada (FP); e Outros.

Segundo Gianetti et al. (2021), 98,2% do montante de crédito concedido no período estudado de 2013 a 2017, estão associados aos subprograma RPD, SPD, FP e iLPF. O mesmo autores destaca ainda que, observado os valores totais relativos ao Brasil, por tipo de projeto, pode-se concluir que o há um maior acesso do Programa e seus recursos através da Recuperação de Pastagens Degradadas (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021), corroborando com as observações também feitas por (BARROS, 2017; GOMES; ARAÚJO, 2018b; LEAL, 2016).

Tabela 1. Crédito concedido de 2013 a 2017 por subprogramas, regiões e aptidão agrícola, em relação ao total do Brasil

Fonte: (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

Aptidão	Projeto	Crédito (%)					Brasil
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
A	RPD	0.1	0.6	4.2	5.4	1.3	11.7
	SPD	0.0	2.7	3.8	4.6	0.9	11.9
	iLPF	0.0	0.1	0.5	1.0	0.2	1.8
	FP	0.0	0.2	0.9	2.3	0.2	3.5
	Outros	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.4
B	RPD	5.7	0.5	10.8	4.7	1.0	22.8
	SPD	0.6	0.2	3.4	2.3	1.6	8.1
	iLPF	0.2	0.1	1.1	1.3	0.2	2.9
	FP	0.3	0.2	0.8	2.2	0.3	3.8
	Outros	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.6
CD	RPD	3.4	2.4	5.7	4.1	2.2	17.7
	SPD	1.3	2.8	0.7	0.6	1.5	6.9
	iLPF	0.2	0.1	0.6	0.7	0.6	2.3
	FP	0.5	0.2	1.8	1.5	0.9	4.8
	Outros	0.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.8
Total		13.1	10.1	34.6	30.9	11.3	100

Adicionalmente, além dos subprograma mais acessados, com importante destaque para recuperação de pastagens degradadas, há também concentrações dos recursos em algumas macrorregiões do país (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021). De acordo com os dados observados na Tabela 1, aproximadamente 65,5% dos recursos foram acessados pelas macrorregiões Sudeste e Centro-Oeste, sendo que, para macrorregiões do Nordeste e Norte apenas 23,2% (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

No que diz respeito à caracterização das regiões que merecem atenção por parte do Programa, Barros (2017) agrupou indicadores correlacionados aos aspectos socioeconômicos como; qualidade das pastagens; regime hídrico; risco climático; viabilidade econômica da cultura e infraestrutura em transporte, a fim de entender as relações do Programa com as diferentes regionalidades do país. O autor demonstra que áreas com elevados índices de degradação e elevadas necessidades ambientais são as mais deficientes em termos logísticos e econômicos (BARROS, 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019). Essa observação faz questionar se o Programa tem se atentado também aos problemas que vão além dos ambientais, como as questões socioeconômicas (BARROS, 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019).

Sendo assim, a partir da contextualização ao redor dos problemas envolvendo a distribuição dos créditos do Programa e sua baixa correlação com áreas necessitadas de atenção ambiental, torna-se necessário entender o quanto a expansão da adoção de manejos mais sustentáveis foi impulsionada por mecanismos de crédito rural via Programa ABC (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; BARROS, 2017; GIL; GARRETT; BERGER, 2016; MAPBIOMAS, 2022). Nesse contexto, destaca-se a importância do presente trabalho, que propõe comparações de situações anteriores e posteriores a criação do Programa ABC, a fim de compreender a contribuição dessa linha de crédito para a adoção de sistemas de produção menos impactantes ao ecossistema.

3. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o impacto do Programa ABC de crédito rural, enquanto ferramenta de política pública, na construção de uma agricultura mais sustentável no estado de Minas Gerais. Portanto, a principal

pergunta a ser respondida no presente projeto é: o crédito rural disponibilizado pelo Programa ABC contribuiu para a adoção de formas mais sustentáveis de produção agrícola, partindo do recorte espacial do estado de Minas Gerais/Brasil?

3.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos que conduziram as investigações propostas por este trabalho, foram:

- I. Estabelecer relações entre o fluxo de crédito rural do Programa ABC e características agropecuárias dos municípios de Minas Gerais.
- II. Analisar o efeito do crédito do Programa ABC na adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, bem como no uso e ocupação do solo no estado.
- III. Determinar o impacto do Programa ABC na redução ou incremento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), através das toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq.) nos municípios do estado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área de estudo foi o estado de Minas Gerais, Brasil (Fig.1). O estado tem 586.514 km² e está localizado no Sudeste do país, entre a longitude 39°51' e 51°02' e a latitude 14°13' e 22°54' (GUIMARÃES; REIS; LANDAU, 2010). Tem três biomas no seu território, sendo o bioma Caatinga ao Norte, o Cerrado no Oeste, e o bioma Mata Atlântica ao Sul e Sudeste (ALVARES et al., 2013; BECK et al., 2018).

A Figura 1 apresenta os municípios do estado de Minas Gerais. A imagem foi montada para demonstrar a distribuição espacial do crédito concedido a nível municipal em Minas Gerais. Assim, municípios pigmentados representam algum nível de acesso, e os municípios em branco representam municípios que não acessaram o Programa ABC ao longo da série temporal estudada: 2013 - 2020. A Figura 1 também procurou demonstrar a distribuição geográfica dos municípios que acederam aos maiores montantes de crédito, sendo estes coloridos com base na diferença entre quartis.

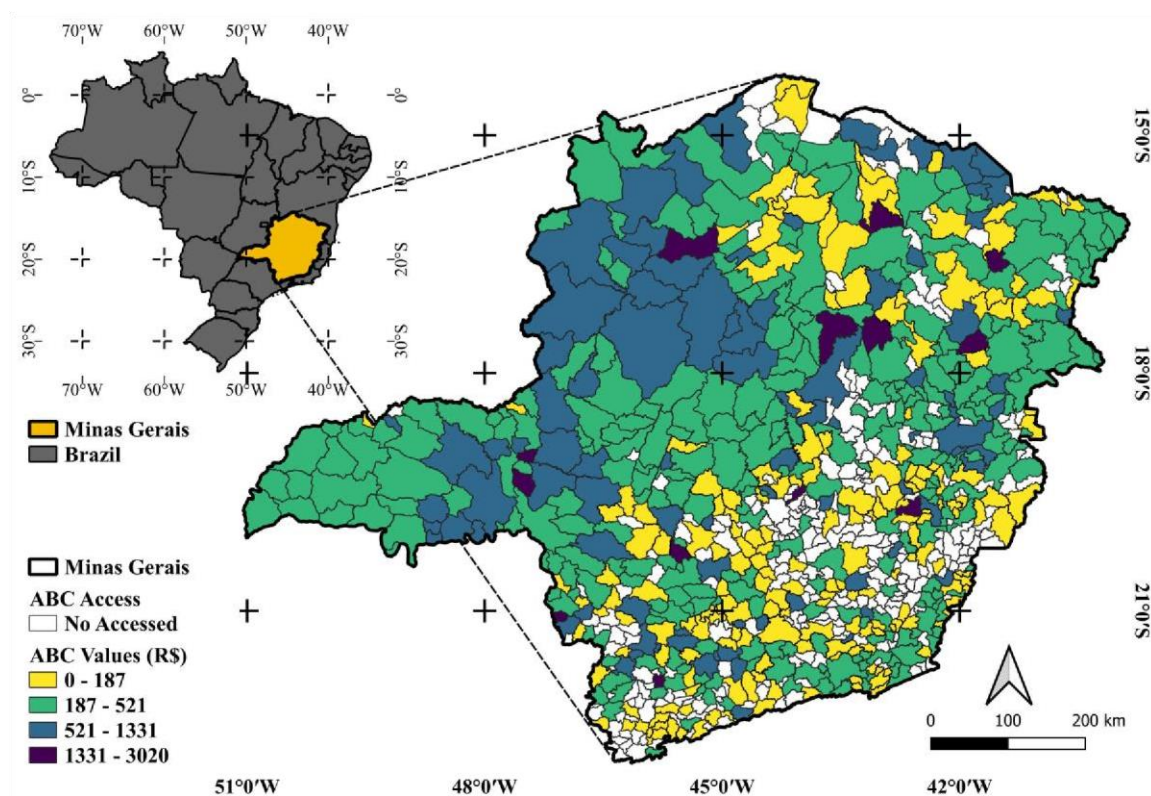


Figura 1: Estado de Minas Gerais, Brasil. Municípios do estado segmentados segundo o acesso ao Programa ABC, classificados pela diferença interquartil.

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados do Programa ABC (BANCO CENTRAL, 2022).

De acordo com a classificação climática Koppen, em Minas Gerais existe predominantemente uma Zona Úmida Subtropical (C): com verões quentes (Cwa) e temperados (Cwb), e zonas tropicais (A): com inverno seco (Aw) e no extremo norte com verões úmidos (As) (ALVARES et al., 2013).

4.2. Aquisição e tratamento dos valores de crédito rural, tecnologias de mitigação e uso e ocupação do solo

4.2.1. Variáveis estudadas

As respectivas variáveis avaliadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 2. A Tabela 2 busca destacar os valores de crédito, as tecnologias de mitigação contempladas pelos objetivos do Programa ABC, ocupação do solo relacionada com a qualidade das pastagens, bem como as emissões de CO₂ equivalente (tCO₂eq.) também objetivo desta política pública.

Tabela 2. Variáveis estudadas por classe, fontes dos dados, unidade e as diferentes abordagens adotadas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Classes	Variáveis	Fontes	Unidade	Abordagem temporal fixa (Ano)	Abordagem Temporal Contínua (Período)	tCO2eq. Abordagem Temporal Contínua (Período)
Crédito Rural	ABC Valores	1	Mil US\$	2017	2013 – 2020	2015 – 2019
Produção Econômica	PIB Agricultura	2	Mil US\$	–	–	2015 – 2019
GEE da Agricultura	CO ₂ equivalente (tCO ₂ eq.)	3	Toneladas	–	–	2015 – 2019
Tecnologias de Mitigação	Silvicultura	4	km ²	2017	2013 – 2020	2015 – 2019
	Plantio Direto	5	km ²	2017	–	–
	Bovino	4	Cabeça	2017	2013 – 2020	2015 – 2019
	Unidade Animal	7	450 kg Vivo	–	–	2015 – 2019
Uso e Ocupação do Solo	Degradada	8	%	2017	2013 – 2020	2015 – 2019
	Int. Degradação	8	%	2017	2013 – 2020	2015 – 2019
	Não Degradada	8	%	2017	2013 – 2020	2015 – 2019

(1) Banco Central (2022); (2) IBGE | PAM (2022); (3) Azevedo et al. (2018) e SEEG (2022); (4) IBGE (2020); (5) CENSO AGROPECUARIO (2017); (6) ATLAS DAS PASTAGENS (2022); e (8) MAPBIOMAS (2022).

Além das bases utilizadas para coletar dos dados, são também apresentadas as abordagens de processamento dos dados, organizados para tornar possível responder os objetivos deste trabalho: abordagem temporal fixa (2017) para responder o objetivo 1 (Seção 4.4.1); e abordagem temporal contínuo (2013 - 2020) e abordagem temporal contínua para Emissões de Carbono (2015 – 2019), ambas para responder o segundo objetivo deste trabalho (Seção 4.4.2 e 4.4.3).

4.2.2. Crédito Rural do Programa ABC

Os montantes contratados através do Programa ABC foram adquiridos junto do Banco Central do Brasil (<https://www.bcb.gov.br/?bc=>) (BANCO CENTRAL, 2022). Esta plataforma está ligada ao governo brasileiro e é responsável por compartilhar os dados sobre políticas públicas de natureza econômica do país (BANCO CENTRAL, 2022).

Os valores do Programa ABC foram corrigidos monetariamente em função da inflação, com base nas séries históricas utilizadas. Este processo utilizou a inflação anual IPC-M (Índice de Preços do Mercado ao Consumidor) gerada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) (<https://portalibre.fgv.br/ipc>). Para que as comparações temporais fossem possíveis, os valores contratados através do Programa foram corrigidos para o ano 2020, o último das séries históricas estudadas. Os valores foram também convertidos de Reais (R\$) para Dólares (US\$), utilizando a taxa de câmbio em 24/10/2022, no montante de US\$1,00 igual a R\$5,28. Vale a pena mencionar que para a variável PIB Agricultura (Mil US\$), foi também aplicada uma taxa de câmbio e uma correção monetária para 2020, a mesma utilizada para corrigir os valores do Programa ABC.

Posteriormente às correções monetárias, os valores do Programa foram processados através da Equação 1. Esta equação procura estabelecer uma relação média entre o crédito rural acessado e os contratos estabelecidos nos municípios. Assim, procurou caracterizar a aquisição de valores monetários realizados pelos municípios, com base no número de contratos.

$$ABC \text{ Valores }_{Mil US\$} = \frac{\text{Crédito do Programa ABC}}{\text{Número de Contratos}} \quad (1)$$

Onde: "ABC Valores" é o valor médio contratado pelos municípios em dólares americanos (US\$); "Crédito do Programa ABC" refere-se ao montante total adquirido pelos agricultores do município; "Número de Contratos" refere-se ao número total de contratos realizados pelos agricultores do município.

A relação média entre ABC Valores e Contratos, foi desenvolvida para que as comparações entre municípios que possuem grandes volumes de contratos de baixo valor, recebessem o mesmo tratamento que aqueles que têm poucos contratos de alto valor, construindo assim uma relação mais justa para o processo de caracterização dos municípios. Assim, procurando compreender o município como um todo, a Equação 1 conseguiu caracterizar Minas Gerais com base nas suas diversidades econômicas e produtivas.

4.2.3. Tecnologias de Mitigação

As tecnologias de mitigação estudadas foram determinadas a partir das Cidades do IBGE (<https://cidades.ibge.gov.br/>) (IBGE, 2022), e do Censo Agropecuário de 2017 (<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>) (CENSO AGROPECUARIO, 2017), publicados e disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Esta classe de variáveis agrupa variáveis agrícolas, como: Silvicultura (km²), Plantio Direto (m²), e Bovino (Cabeças) e Unidade Produtiva (405kg Animal Vivo). A Equação 2 demonstra a relação média criada para determinar as características produtivas dos municípios.

$$\text{Sistemas de Produção}_{x,y,z,w} = \frac{\text{Produção Municipal Total}_{(x,y,z,w)}}{\text{Número de Agricultores}_{(x,y,z,w)}} \quad (2)$$

Onde: "Sistemas de Produção" refere-se Área (km² e m²) e nº de animais (cabeça e unidade produtiva) municipal total; "Produção Municipal Total" refere-se à produção agrícola total do município; "Número de Agricultores" refere-se ao número total de produtores presentes no município; e "x, y, z, e w" representam a Silvicultura (km²); Plantio Direto (m²), Bovino (Cabeças), Unidade Animal (450 kg Animal Vivo), respectivamente.

A fim de tornar possível a caracterização agrícola dos municípios de Minas Gerais, foi desenvolvida uma produção média por agricultor. É importante salientar que os valores agrícolas foram exclusivamente relacionados com os agricultores que realizam atividades agrícolas específicas. Portanto, os valores da produção municipal foram levantados e posteriormente divididos pela quantidade

total de agricultores que realizam aquela mesma atividade específica. Como por exemplo, a divisão do número de Bovino (Cabeças) municipais por produtores de Bovinos (Cabeças) municipais, e assim sucessivamente.

A média entre a produção total e o número de produtores foi desenvolvida para possibilitar comparações justas entre os municípios. Objetivou-se através deste processamento desenvolver comparações capazes de caracterizar os municípios e não alguns produtores mais capitalizados, considerando assim diferenças territoriais e números populacionais destes municípios.

4.2.4. *tCO₂ equivalente e Produto Interno Bruto (PIB) da Agropecuária*

A variável CO₂ equivalente da agricultura (mil US\$), foi obtida do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases com Efeito de Estufa (SEEG, 2022). A plataforma utiliza dados da ação humana sobre o uso e ocupação do solo, atividades pecuárias e outras, para construir estimativas das emissões de GEE (tCO₂eq.) (AZEVEDO et al., 2018).

É importante salientar que a plataforma SEEG fornece dados de emissões para todos os sectores da economia (SEEG, 2022). No entanto, para desenvolver a abordagem agrícola neste trabalho, foi necessário combinar as emissões de GEE provenientes da Mudança do Uso da Terra e da Pecuária, a fim de agrupar apenas as emissões relativas à agropecuária (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022). Outros detalhes podem ser observados na seção 4.3. e em SEEG (2022).

Em adição, a variável Produto Interno Bruto da Agropecuária (PIB Agricultura Mil US\$) foi extraída da Produção Agrícola Municipal (PAM), disponível no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE | PAM, 2022) e acessível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. De acordo com o IBGE | PAM (2022), os dados disponíveis foram adquiridos através da aplicação de questionários. A coleta de dados sobre atributos agrícolas foi realizada através do contacto entre agentes e organizações municipais, responsáveis pela partilha de informação sobre produtividade e área plantada, entre outros (IBGE | PAM, 2022).

Os produtos e valores agrícolas determinados pelo PAM são coletados mensalmente pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA (IBGE | PAM, 2022). Este sistema utiliza a rede de coleta de dados do IBGE, técnicos de outras agências envolvidas, agricultores, colaboradores e representantes técnicos de entidades públicas e privadas, através de reuniões

técnicas sobre estatísticas agrícolas a nível estatal, regional e municipal (IBGE | PAM, 2022).

A equação 3 demonstra a relação média criada entre as toneladas CO₂ equivalente da Agricultura (tCO₂eq.) e o PIB Agricultura (mil US\$) com o número total de agricultores municipais.

$$\text{Agricultura tCO}_2\text{eq. | PIB} = \frac{\text{Agriculture Variable}_{(a,b)}}{\text{Número de Agricultores Municipais}_{(a,b)}} \quad (3)$$

Onde: "Agricultura tCO₂eq. | PIB" refere-se à média do equivalente de CO₂ da Agricultura (a) ou do PIB da Agricultura (b) por agricultores dos municípios; "Variáveis Agropecuárias" refere-se ao total de a ou b produzido no município; "Número de Agricultores Municipais" refere-se ao número total de agricultores presentes no município.

Os resultados obtidos na Equação 3 destacam uma média de emissões de GEE (tCO₂eq.) por agricultor municipal, ou PIB Agricultura por agricultor municipal. Esta relação permitiu a construção de análises estatísticas com outros atributos da produção agrícola municipal, permitindo a avaliação de mais do que apenas os valores brutos de produção nos municípios. Esta organização dos dados caracteriza mais adequadamente os municípios, principalmente porque reduz a influência dos municípios com um grande número de agricultores, mas com baixas emissões de GEE ou produção do PIB, nas análises estatísticas utilizadas.

4.2.4. *Uso e Ocupação do Solo: Qualidade do pasto*

O nível de degradação da pastagem foi também determinado a nível municipal, e os dados foram levantados através da plataforma MapBiomas - Coleção 6 - Qualidade do Pasto (<https://mapbiomas.org/>) (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; MAPBIOMAS, 2022). Esta classe de pastagens variáveis variando entre Degradada, Degradação Intermédia, e Não Degradada (PARENTE et al., 2019). Para a determinação da qualidade do pasto, foram construídas relações percentuais entre a qualidade do pasto e o total do pasto presente no município. Relação percentual demonstrada na Equação 4.

$$\text{Pastagem}_{a,b,c} = \frac{\text{Qualidade das Pastagens}_{(a,b,c)}}{\text{Total de Pastagens Municipal}} \times 100 \quad (4)$$

Onde: "Pastagem" é a percentagem relativa à pastagem total no município; "Qualidade das pastagens" é a classe específica de pastagem; "Total de Pastagens Municipal" refere-se à área total utilizada para pastagem no município; e "a, b e c" representa pastagens degradadas, intermediariamente degradadas e não degradadas, respectivamente.

A relação percentual foi adoptada para considerar o efeito da conversão de pastagens para outras culturas ao longo da série temporal utilizada. Este tratamento permitiu caracterizar a quantidade de pastagens de baixa qualidade transformadas em pastagens de melhor qualidade no município, e não em outras culturas, não contempladas neste trabalho.

A metodologia de classificação da qualidade das pastagens em função de seu vigor vegetativo, utilizadas neste trabalho, foi desenvolvida por Parente et al. (2019). Segundo os autores, esta metodologia baseia-se no NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sensoriamento remoto e ferramentas de aprendizagem de máquinas (Machine Learning) (PARENTE et al., 2019).

4.3. CO₂ Equivalente da Agricultura (tCO₂eq.): Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases com Efeito de Estufa (SEEG Brasil)

A aquisição de dados de CO₂ equivalente (tCO₂eq.) foi realizada a partir da plataforma de acesso livre SEEG (2022), disponível em <https://seeg.eco.br/>. A sua plataforma de dados foi uma iniciativa do Observatório do Clima (<https://www.oc.eco.br/>) para aumentar a compreensão das alterações climáticas e emissões de gases com efeito de estufa (GEE) no território brasileiro.

De acordo com Azevedo et al. (2018), as estimativas de emissão foram desenvolvidas usando métodos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base nos Inventários Brasileiros de Emissões Antrópicas e Remoções de Gases de Efeito Estufa (AZEVEDO et al., 2018). Os inventários são construídos com base nos dados disponibilizados por institutos e centros de investigação, relatórios de governamentais, organizações não governamentais e organismos setoriais (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022).

O dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hidrofluorcarbono (HFC) são considerados para as estimativas, produzindo assim o CO₂ equivalente de toneladas (tCO₂eq.) por município, estados federados, bem como para o Brasil (AZEVEDO et al., 2018). Assim, para a variável

tCO₂eq. utilizada neste trabalho, foram contabilizados os GEEs produzidos pelos municípios, considerando o forçamento radiativo de cada gás (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022).

Segundo o SEEG (2022), existem duas abordagens metodológicas para contabilizar o tCO₂eq., primeiro através do PAG (Potencial de Aquecimento Global) e segundo através do GTP (Potencial de Mudança de Temperatura Global) (DANGAL et al., 2017; IPCC, 2017, 2021, 2022; PARRA et al., 2019). O primeiro método baseia-se na capacidade de influência energética do GEE específico, com base no artigo 5º do Relatório (AR5) (IPCC, 2022). Por outro lado, o segundo método utiliza a influência dos GEE para aumentar a temperatura na terra (IPCC AR2, AR4 e AR6). Ambos os métodos consideram a influência destes gases ao longo de 100 anos (IPCC, 2022).

Além disso, de acordo com Azevedo et al. (2018), o método GWP tem sido mais utilizado, sendo este, portanto, o método considerado no momento da aquisição dos dados da plataforma SEEG (2022) (tCO₂eq. - GWP - AR5). Portanto, segundo o método GTW, a equivalência de CO₂ para CO₂, CH₄, N₂O e HFC (125), representam, respectivamente, 1, 21, 270, e 2800 de CO₂ emitido (AZEVEDO et al., 2018; IPCC, 2017, 2021, 2022; SEEG, 2022).

4.3.1. CO₂ equivalente (t) de Uso e Ocupação do Solo (Mudança do Uso do Solo + Pecuária)

Os inventários de emissões são feitos através da avaliação de cinco sectores de emissões de gases com efeito de estufa (SEEG, 2022): Agropecuária; Mudança do Uso da Terra; Energia; Resíduos; e Transportes (AZEVEDO et al., 2018). Portanto, a variável tCO₂eq. para a Agricultura utilizada neste trabalho parte da soma dos sectores da Mudança do Uso do Solo e Agropecuária (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022).

De acordo com o SEEG (2022) o número de emissões do sector da Mudança do Uso do Solo foi desenvolvido através da utilização e ocupação do solo fornecido pelo MAPBIOMAS (2022) plataforma. Esta plataforma apresenta uma série cronológica de ocupação do solo e outras variáveis de 1985 a 2021 (MAPBIOMAS, 2022).

tCO₂eq. das mudanças no uso e ocupação do solo, representa as estimativas associadas à cobertura do solo e às áreas queimadas (AZEVEDO et

al., 2018). Para este sector, CO₂, CH₄ e N₂O foram os gases contabilizados (AZEVEDO et al., 2018). No território brasileiro, as Alterações no uso do solo têm uma importante contribuição história nas emissões nacionais, sobretudo pelas queimadas e desmatamento na Amazônia e Cerrado (AZEVEDO et al., 2018; MAPBIOMAS, 2022; NUMATA et al., 2007; RANGEL PINAGÉ et al., 2022; SEEG, 2022). O uso de ocupação do solo é fonte de CO₂, mas pode também ser um importante capturador de carbono da atmosfera (CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; DA COSTA et al., 2021; MOUSAVI; FALAHATKAR; FARAJZADEH, 2017; RANGEL PINAGÉ et al., 2022; ZHANG et al., 2018).

Vale destacar que, para tornar possível as comparações com a concentração de carbono atmosférico (xCO₂) e as estimativas das emissões de GEEs pela atividade agropecuária dos municípios (tCO₂eq.), o recorte temporal para a Abordagem Temporal Contínua da Agricultura em Matéria de Emissões de Carbono: 2015 – 2019 (seção 4.4.3.), toma como base a disponibilidade temporal do satélite OCO-2: outubro de 2014 a setembro de 2020 (CRISP et al., 2012; O'DELL et al., 2012). Portanto, buscando utilizar dados coletados em anos completos, foi utilizado um período de 2015 a 2019 para aquisição dos dados de tCO₂eq. (AZEVEDO et al., 2018; CRISP et al., 2012; O'DELL et al., 2012).

Além disso, apesar da importante capacidade de remover o CO₂ atmosférico desempenhado pelo uso e ocupação do solo, o presente trabalho não utilizou emissões líquidas de tCO₂eq. (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022). Portanto, para este estudo, foram utilizadas apenas estimativas de emissões, e não de remoções (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022).

Segundo Azevedo et al. (2018), a variável tCO₂eq. para agropecuária parte de projeções de emissões dos gases CH₄ e N₂O, assim, portanto, não sendo contabilizado as emissões de CO₂ neste caso. Este aspecto torna-se possível graças a maior capacidade de aquecimento global do CH₄ e N₂O, e a baixa quantidade relativa de CO₂ emitido pelo setor da agropecuária. Portanto, o CH₄ é contabilizado através de: (i) queima de resíduos de culturas; (ii) fermentação entérica de ruminantes; e (iii) tratamento ou gestão de resíduos animais (AZEVEDO et al., 2018). Além disso, as emissões de N₂O foram estimadas através de: (i) óxido nitroso emitido pela fertilização química e orgânica; (ii) preparação e cultivo de solos orgânicos; (iii) aplicação de estrume em pastagens

como fertilizante; (iv) gestão de resíduos animais; (v) queima da cultura; e (vi) sistema de decomposição de resíduos orgânicos (AZEVEDO et al., 2018).

4.3.2. Coleta de dados xCO₂ (ppm) e análise geoestatística de Krigagem

A Figura 2 mostra o Brasil e Minas Gerais, com pontos xCO₂ coletados nas regiões administrativas do estado, utilizando cinco classes de cores organizadas de acordo com a diferença interquartil. Os pontos de coleta do satélite OCO-2, foram coloridos a partir dos intervalos de quartil, começando com a cor verde para valores mais baixos e a cor vermelha para valores mais altos. A série temporal estudada para esta abordagem foi de 2015 a 2019 (Seção 4.3.1).

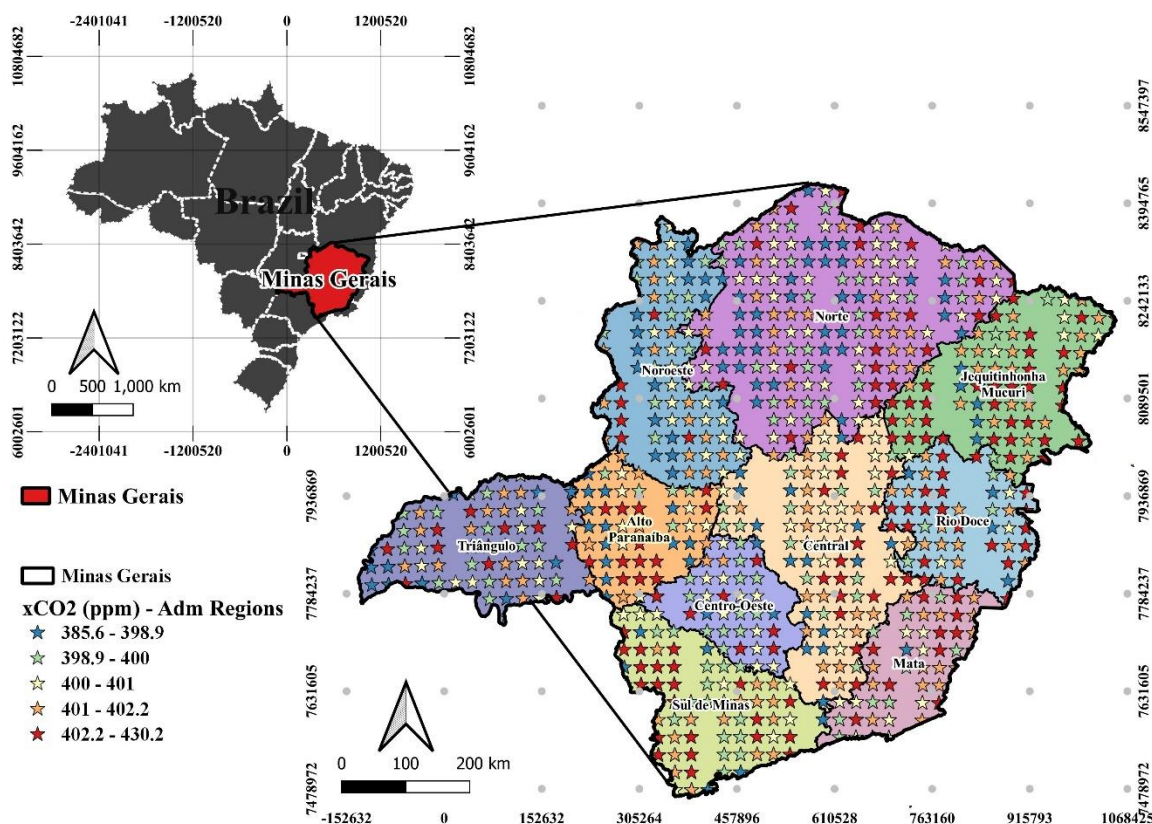


Figura 2: Pontos de coleta de xCO₂ nas regiões administrativas do estado de Minas Gerais, Brasil.

Fonte: Elaborada pela Autor a partir de dados do projeto OCO-2 NASA (O'DELL et al., 2012).

As concentrações médias de CO₂ na coluna atmosférica (xCO₂) foram determinadas a partir dos satélites OCO-2 da NASA (National Aeronautics and Space Administration) (CRISP et al., 2012; O'DELL et al., 2012) (<https://search.earthdata.nasa.gov/Search>). Esta variável tem uma resolução espacial de 2,0° x 2,5°, e uma resolução temporal de 16 dias, com os resultados disponíveis em PPM (Parte por Milhão) (O'DELL et al., 2012a).

Para permitir a construção de mapas Krigagem, foram utilizados os pontos de coleta georreferenciados do satélite, a fim de desenvolver médias anuais por ponto de coleta, com base nos dados mensais disponíveis (Fig. 2). Sendo assim, a coleta mensal efetuada por satélite foi agrupada numa única média por ponto georreferenciado, como desenvolvida por Campos et al. (2022). Assim, foi desenvolvido um mapa capaz de mostrar o equilíbrio entre as entradas e saídas de CO₂ atmosférico para cada ponto de coleta de dados (CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022)

Para quantificar adequadamente as concentrações de CO₂ (xCO₂) na coluna atmosférica, a fim de tornar possível as comparações entre regiões administrativas propostas pelo trabalho, foram corrigidas as tendências de crescimento linear global dos gases ao longo do tempo (CO₂) (ARTURSSON et al., 2000; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; DA COSTA et al., 2021). Para todas as variáveis estudadas, foram desenvolvidos testes de normalidade, testes de homoscedasticidade, e testes de probabilidade de distribuição (CAMPOS et al., 2008; MCNAMARA, 2019; WANG; CAJA; GÓMEZ, 2018).

Os outliers foram também removidos, utilizando o método de identificação do intervalo interquartil (IGR) (Wang et al., 2018), com exceção das análises de Krigagem desenvolvidas para a espacialização dos valores de xCO₂ (ppm) em Minas Gerais. O software R versão 4.0.4 (MCNAMARA, 2019) e o software QGIS 3.26.1 (QGIS 3.26.1, 2022), foram utilizados para análise estatística e geoprocessamento de dados.

4.3.3. Espacialização geoestatística dos valores de xCO₂ por Krigagem

Krigagem é um método de regressão utilizado em geoestatística, baseado na dependência espacial da variável estudada (CAMBARDELLA et al., 1994; CAMPOS et al., 2008). Assim, este método estatístico interpola os dados a partir da distância do ponto de amostragem real, e faz estimativas para os valores que estão localizados entre os pontos reais de coletas (PEREIRA et al., 2004). Como mencionado anteriormente, para este estudo, os pontos reais de coleta de xCO₂ são especializados em de 2,0° x 2,5°.

Após a interpolação construída, os mapas com isolinhas foram delimitados para posterior pigmentação através do software QGIS 3.26.1 (2022). Como para as outras variáveis, também para análise de Krigagem foi utilizado o

teste de Shapiro-Wilk, permitindo concluir a não-normalidade dos dados de xCO₂ (CAMPOS et al., 2008; MCNAMARA, 2019; WANG; CAJA; GÓMEZ, 2018).

A dependência espacial foi ajustada utilizando um semivariograma experimental (CAMPOS et al., 2008; VIEIRA et al., 1983). Para analisar o grau de dependência espacial (Tab. 3), a classificação de Cambardella et al. (1994) foi utilizada. De acordo com Cambardella et al. (1994), a dependência espacial pode ser classificada como forte, moderada e fraca, com valores que vão de 0 a 25%, 25 a 75%, e 75 a 100%, respectivamente.

Para este estudo, os modelos de semivariograma utilizados foram: esférico, exponencial e gaussiano (CAMBARDELLA et al., 1994; CAMPOS et al., 2008; PEREIRA et al., 2004; SILVA et al., 2007). A determinação de qual semivariograma deveria ser utilizado, partiu da análise do R² mais elevado (CAMBARDELLA et al., 1994; OHTANI, 2000) e o RMSE (raiz quadrada do erro médio) mais baixo (HENGL; HEUVELINK; STEIN, 2004; POULADI et al., 2019). Portanto, tomando como bases os critérios mencionados acima, para todos os anos estudados, o semivariograma experimental adotado utilizou o modelo exponencial (Tab. 3) (CAMBARDELLA et al., 1994; SILVA et al., 2007; VIEIRA et al., 1983).

Tabela 3. Apresentação dos atributos necessários para o desenvolvimento da espacialização por Krigagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

Anos	xCO ₂ ppm				
	2015	2016	2017	2018	2019
Pepita (C₀)	4	4	6	4	6
Patamar (C₀+C₁)	5.5	6	10	6.5	8.5
Alcance (km)	150	170	180	220	160
C₀ / (C₀ +C₁)	72.7	66.7	60.0	61.5	70.6
DE*	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
R²	0.25	0.135	0.133	0.09	0.16
RMSE**	2.07	2.22	2.97	2.32	2.72
Modelo***	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
Normalidade	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05
Assimetria	0.52	1.07	1.32	1.6	2.72

Curtose	3.11	8.61	5.92	7.78	19.41
----------------	------	------	------	------	-------

* Dependência Espacial (DE). ** Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE). *** Modelo Exponencial (Exp.).

A análise R^2 utilizada na Krigagem e Linear Regressão, é uma métrica capaz de quantificar a capacidade de previsão do modelo (OHTANI, 2000). O RMSE utilizado, visa fazer um dimensionamento de quando os valores estimados estão errados em relação aos valores reais, fornecendo uma métrica estatística capaz de avaliar o quão assertivo é o modelo de previsão construído (HENGL; HEUVELINK; STEIN, 2004; POULADI et al., 2019). O MRSE é sempre positivo, e quanto mais próximo de 0 melhor, portanto, aponta um melhor ajuste dos dados estimados.

4.4. Abordagem temporal fixa e contínua: Crédito rural, Tecnologias de Mitigação e Uso do Solo

4.4.1. Abordagem Temporal Fixa: 2017

A abordagem temporal fixa procurou responder ao primeiro objetivo deste trabalho; (i) estabelecer relações entre as características agrícolas municipais responsáveis pela aquisição de recursos do Programa ABC no estado de Minas Gerais. Esta abordagem é denominada fixa, uma vez que foi desenvolvida apenas a partir do ano 2017. Assim, foram dimensionando valores de crédito e características agrícolas apenas para este ano.

Esta abordagem considerou apenas o ano 2017, devido à disponibilidade dos dados fornecidos pelo Censo Agrícola de 2017 (CENSO AGROPECUARIO, 2017). Para além de permitir compreender o fluxo do crédito rural estudado, contribuiu também para uma melhor compreensão da variável Plantio Direto (m^2) (Tab. 4), com dados disponíveis apenas no CENSO AGROPECUARIO (2017).

Além disso, a análise gráfica do Boxplot para esta abordagem (Fig. 4 e Tab. 4), considerou a série temporal completa (2013 - 2020) para determinar os municípios que acederam ou não ao Programa. Portanto, foi identificado como "No", os municípios que nunca acederam ao crédito de 2013 a 2020 (Fig. 5). Esta mesma ideia foi utilizada para determinar os municípios que acederam ao Programa, pelo menos uma vez entre 2013 e 2020, identificados como "Yes" (Fig. 5). A série temporal completa foi também utilizada para determinar a variável ABC Valores nesta abordagem. Para este efeito, foi desenvolvida uma média pelos municípios dos valores por contrato calculados a partir da equação 1 (2.2.2.).

4.4.2. Abordagem Temporal Contínua: 2013 - 2020

A abordagem temporal contínua foi orientada para responder ao segundo objetivo deste trabalho: (ii) determinar o impacto do crédito nos sistemas agrícolas em Minas Gerais, Brasil. Esta abordagem analisa o impacto do crédito ao longo do tempo, portanto, utilizando as séries temporais completas e contínuas de 2013 - 2020. Este fator permitiu compreender a relação entre o crédito acessado ao longo do tempo e seus respectivos impactos na transformação das bases produtivas dos municípios de Minas Gerais.

Além disso, para poder compreender o impacto do crédito ao longo do tempo, a abordagem temporal contínua utilizou municípios que tiveram acesso ao crédito do Programa durante 6, 7 e 8 anos para as séries temporais de 8 anos estudadas (2013 - 2020). Vale também a pena mencionar que o impacto do crédito não se limita apenas à quantidade de dinheiro acedido, mas também à frequência do acesso ao crédito ao longo do tempo, aspectos estes capazes, para este estudo, de explicar as tendências estatísticas observadas (Fig. 6 e 9).

Os resultados que comprovam a eficiência deste método são observados na Figura 7, nas relações desenvolvidas entre as variáveis estudadas e o Tempo de Acesso ao Programa. Portanto, a seleção dos municípios também por frequência, permitiu observar se o crédito acedido a partir do Programa ABC teve um impacto significativo na adoção de sistemas de produção mais sustentáveis pelos municípios de Minas Gerais.

Outro ponto de destaque trata-se da variável Plantio Direto (m²), que não foi utilizada nesta abordagem. Esta variável não foi utilizada devido à sua restrição de dados, disponível apenas em 2017. Assim, embora a abordagem temporal fixa incluísse todas as variáveis estudadas, a abordagem temporal contínua não contou com a variável de Plantio Direto pela indisponibilidade de dados (CENSO AGROPECUARIO, 2017; IBGE, 2020, 2022).

4.4.3. Abordagem Temporal Contínua da Agricultura em Matéria de Emissões de Carbono: 2015 - 2019

A Abordagem Temporal Contínua da Agricultura em matéria de Emissões de Carbono: 2015 – 2019, também foi orientada para responder ao segundo objetivo deste trabalho: (ii) determinar o impacto do crédito nos sistemas agrícolas em Minas Gerais, Brasil. Além disso, o objetivo desta abordagem procura

compreender o impacto dos valores de PIB da Agricultura (Mil US\$) sobre o CO₂ equivalente de Agricultura (tCO₂eq.), uma vez que na abordagem anterior (Secção 2.3.2.) a análise procurou avaliar o impacto do crédito do ABC ao redor das variáveis relativas ao uso e ocupação do solo e características agropecuárias municipais.

Como também observado na secção anterior, esta abordagem faz uso de municípios com 6, 7, e 8 tempos de acesso. No entanto, para desenvolver a análise, foi utilizado um período de 2015 a 2019, como explicado na secção 4.3.1. Além disso, é importante salientar que, tal como a secção anterior, o Plantio Direto (m²) não foi utilizado.

Entretanto, foram adicionadas outras variáveis. Além do equivalente de CO₂ equivalente Agricultura (tCO₂eq.) e PIB Agricultura (Mil US\$), foi também adicionada a variável Unidade Animal. Tal como com Bovino (cabeça), a variável Unidade Animal (450kg Animal Vivo) (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; CENSO AGROPECUARIO, 2017). A unidade utilizada para esta variável é equivalente a um animal com 450 kg de peso vivo (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022).

A variável Unidade Animal permitiu expandir a compreensão do rebanho animal sobre ao uso e ocupação do solo, bem como suas emissões de GEE. Este aspecto ocorre especialmente porque a variável Unidade Animal traduz as quantidades brutas de animais em valores capazes de caracterizar o peso do animal e, portanto, a sua idade, um fator importante para a capacidade de suporte do sistema de pastagem envolvido (ABDALLA et al., 2018; ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017; DIAS-FILHO, 2017).

4.5. Fluxograma e Análise de Dados Estatísticos

Uma vez coletados os dados das bases mostradas na Tabela 2, estes foram padronizados em unidades de medida, como explicado na Figura 3. Nesta etapa, os valores em Reais (R\$) do crédito estudado foram também transformados em valores em Dólares (US\$). Posteriormente, as variáveis foram submetidas às equações 1, 2, 3 e 4.

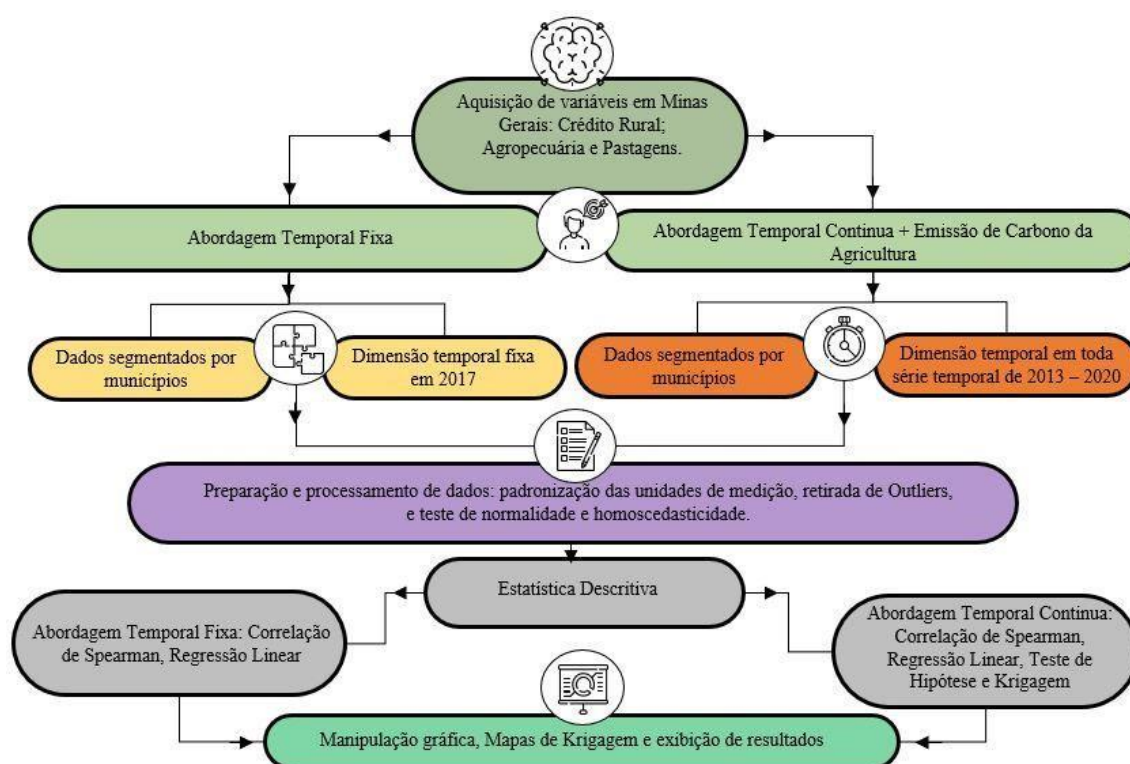


Figura 3: Fluxograma para coleta e processamento dos dados: abordagens, preparação, tratamento e manipulação estatística.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dada a distribuição não normal dos dados, foram utilizadas análises estatísticas não-paramétricas. Para a abordagem temporal fixa, foi adoptada a análise de correlação de Spearman ($p < 0,05$) e também Boxplots para representação gráfica. Foram utilizadas análises de regressão linear para as abordagens fixa temporal e contínua, sob diferentes níveis de probabilidade: $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$; e $p > 0,05$.

Além disso, para ambas as abordagens temporais contínuas, foram utilizados testes de hipótese de Duncan. Este teste estatístico permite fazer comparações entre grupos de variáveis, tornando possível tirar conclusões em torno da semelhança ou diferença de classes. Este teste desenvolve comparações entre as amplitudes dos conjuntos de médias, utilizando uma amplitude mínima calculada. Assim, segundo esta análise, quando as médias comparadas ultrapassam a amplitude mínima determinada, tais conjuntos de médias são considerados significativamente diferentes, portanto, quando as médias não ultrapassam esta amplitude são consideradas estatisticamente iguais.

Ao contrário do desenvolvido para a análise de Krigagem, para todas as outras análises, as variáveis foram processadas a partir dos valores de Outliers.

Portanto, utilizando o método de classificação Interquartil (IGR), os valores de Outliers foram identificados e posteriormente removidos (WANG; CAJA; GÓMEZ, 2018). A organização, estatísticas e demonstração gráfica das variáveis foram desenvolvidas utilizando o Software R versão 4.0.4 (MCNAMARA, 2019). Os mapas e recortes espaciais utilizaram o software de geoprocessamento QGIS 3.26.1. (QGIS 3.26.1, 2022).

5. RESULTADOS

5.1. Fluxo de crédito do Programa ABC em função do Uso e Ocupação do solo e Tecnologias de Mitigação em Minas Gerais: Abordagem Temporal Fixa - 2017

A Figura 4 apresenta valores de correlação Spearman, significativos ($p < 0,05$) quando não representados pela simbologia "X". Como resultado, observou-se que a variável ABC Valores (Mil US\$) não apresentou uma relação significativa para o Plantio Direto (m^2), Bovino (Cabeças), Pasto de Degradação Intermédia (%) e Pasto Não Degradado (%) (Fig. 4). No entanto, ABC Valores (Mil US\$) apresentou significância diretamente proporcional de intensidade fraca, com Silvicultura (0,21) e Pastagem Degradada (0,14) (Fig. 4), indicando que à medida que cresce os valores do ABC cresce também os valores de Silvicultura e Pastagem Degradada.

Em geral, observa-se que as variáveis Pastagens Intermediárias Degradadas e Pastagens Não Degradadas, demonstraram correlação inversamente proporcional com todas as variáveis (Fig. 4). O contrário foi observado para as Pastagens Degradadas, onde todas as variáveis mostraram uma relação diretamente proporcional, com exceção das Pastagens Não Degradadas (-0,74) (Fig. 4). Tais aspectos, quando significativo a relação entre as variáveis e de comportamento inversamente proporcional, indicam que uma variável cresce à medida que a outra associada decresce. O contrário é observado para relações significativas e diretamente proporcionais, indicando que à medida que uma variável cresce a variável associada cresce também.

A variável Pastagens Degradadas (%) apresentou relação diretamente proporcional de intensidade intermédia com Silvicultura (0,42), e fraca com a variável Plantio Direto (0,16), Bovino (0,17), Pastagens de Degradação Intermédia (0,16). Adicionalmente, a mesma variável demonstrou forte relação inversamente proporcional com Pastagens Não Degradadas (-0,76) (Fig. 4).

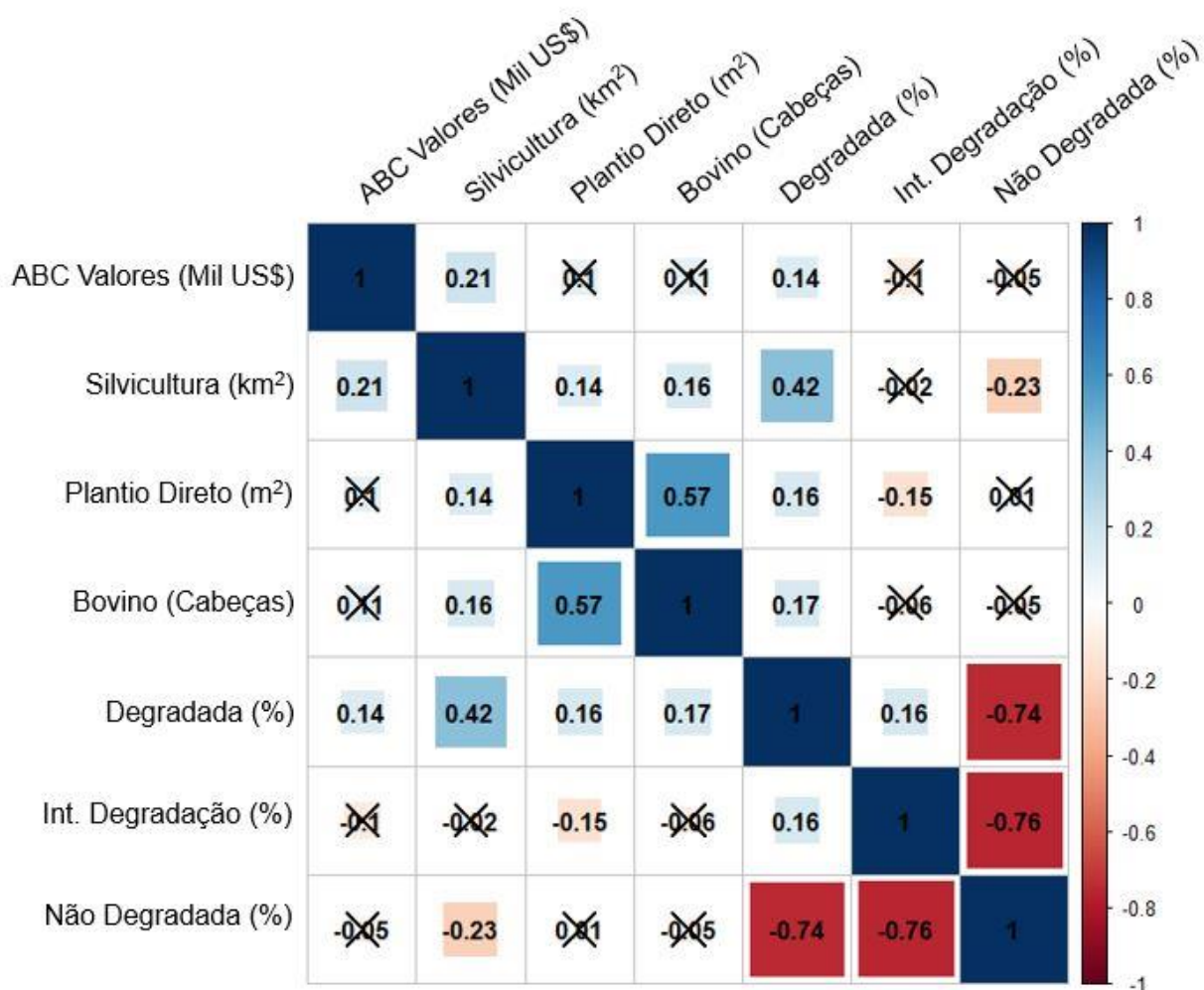


Figura 4. Análise de Correlação linear de Spearman ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

As variáveis Silvicultura, Plantio Direto e Bovino, também demonstraram relações diretamente proporcionais com a maioria das variáveis (Fig. 4). Silvicultura (km²) mostrou uma fraca intensidade com Plantio Direto (0,14) e Bovino (0,16). No entanto, a Plantio Direto mostrou uma relação de força intermédia com Bovino (0,57).

A Figura 5 foi organizada de modo a demonstrar, através da regressão linear, as interações existentes entre o fluxo de crédito rural do Programa ABC e as variáveis estudadas. Os níveis de significância para a regressão linear são determinados por " * "; " ** "; e " *** ", para níveis de significância correspondentes a $p < 0,05$; $p < 0,01$; e $p < 0,001$, respectivamente (Fig. 5 A, C, E, G, I e K). Boxplots para municípios que acessaram ("Yes") e não acessaram ("No") aos recursos do Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono), e regressão linear para ABC Valores (Mil US\$) entre Silvicultura (km²) (A, B); Plantio Direto (m²) (C, D); Bovino

(Cabeças) (E, F); Pastagens Degradadas (%) (G, H); Pastagens de Degradação Intermédia (%) (I, J); Pastagens Não Degradadas (%) (K, L).

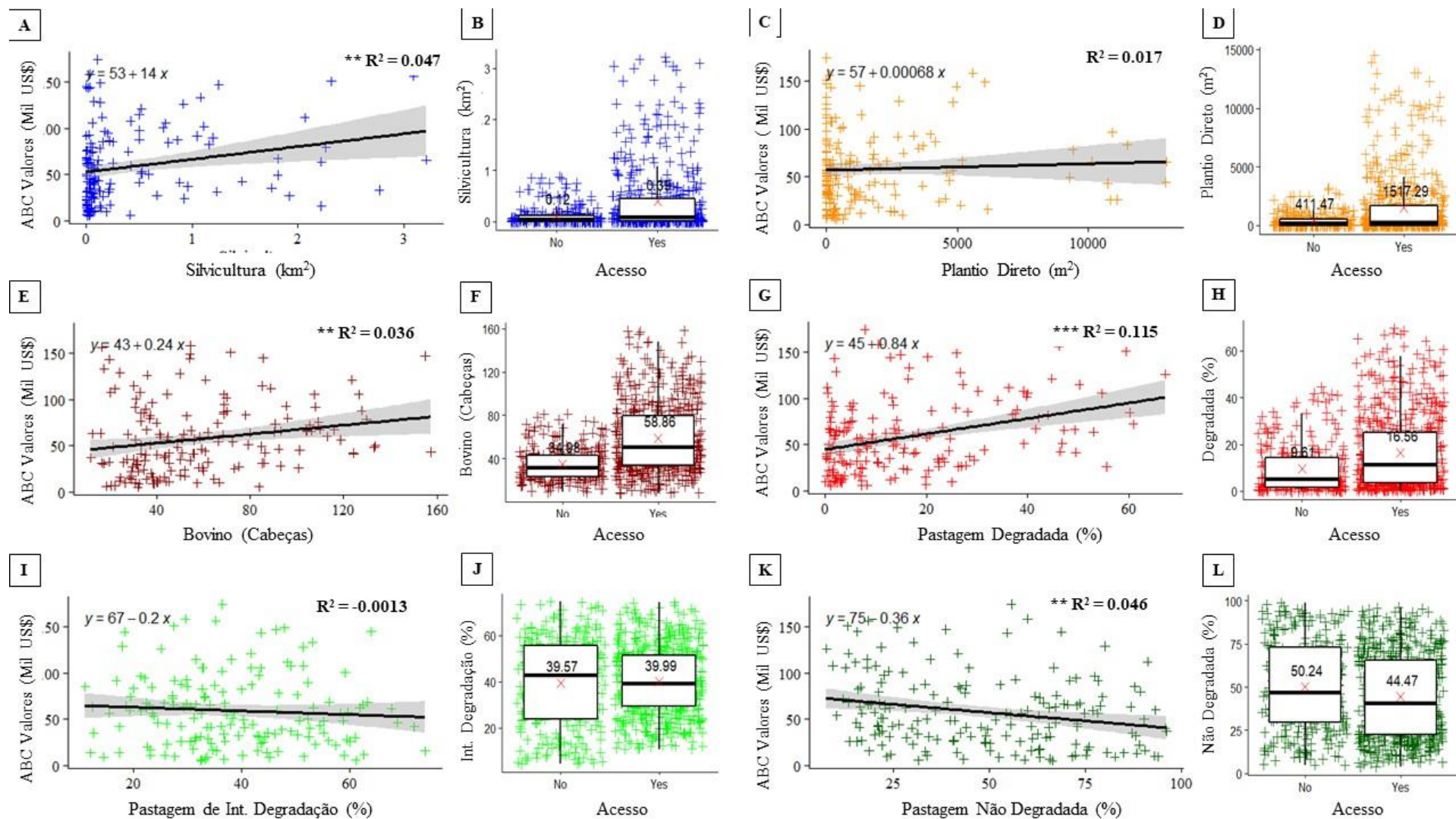


Figura 5: Boxplots e regressão linear significativos quando: $p < 0.005 = "**"$; $p < 0.01 = "***"$; e $p < 0.001 = "****"$.
Forte: Elaborado pelo autor

Juntamente com esta figura, foram associados gráficos de Boxplots, caracterizando o acesso dos municípios ao crédito, de acordo com a abordagem temporal fixa. Para o gráfico de Boxplots, as categorias de análise foram segmentadas em "Yes" e "No", correspondendo a: "Yes" municípios que acessaram ao crédito pelo menos uma vez; e "No" para os municípios que nunca acessaram aos recursos (Fig. 5 B, D, F, H, J e L).

Para regressão linear entre a variável ABC Valores (Mil US\$) e Silvicultura ($p < 0,01$), Bovino ($p < 0,01$), Pastagens Degradadas ($p < 0,001$) e Pastagens Não Degradadas ($p < 0,01$), mostraram significado estatístico (Fig. 5 A, E, G e K). Para a análise dos ABC Valores, os valores entre Plantio Direto ($R^2 = 0,017$) e Pastagens de Degradação Intermédia ($R^2 = -0,0013$) não foram significativos (Fig. 5 C e I). Assim, não se tornou possível afirmar que a variável ABC Valores impactou o volume de Plantio Direto e Pastagens de Degradação Intermédia nos municípios estudados em Minas Gerais. Adicionalmente, como as Pastagens de Degradação Intermédia, a variável Pastagens Não Degradadas mostrou uma relação inversamente proporcional, quando relacionada com ABC Valores, a única relação estatisticamente significativa ($p < 0,01$) e de tendência negativa ($R^2 = 0,046$) desta análise (Fig. 5 I e K).

As variáveis Silvicultura (km^2), Bovinos (Cabeças) e Pastagens Degradadas (%), mostraram interações diretamente proporcionais com ABC Valores (Mil US\$), sendo os valores de R^2 iguais a 0,047; 0,036; e 0,115, respectivamente (Fig. 5 A, E e G). Estes resultados demonstram que, à medida que se aumenta uma unidade dos valores do eixo x (Silvicultura, Bovino, Pastagens Degradadas, e Pastagens Não Degradadas), ampliasse também 14, 0,24 e 0,84 Mil US\$ de Valores ABC. Ou seja, por exemplo, a cada km^2 de Silvicultura ampliando em média por agricultor, se amplia também 14 mil US\$ em média por contrato do programa ABC (Fig. 5 A). O resultado apresentado por Pastagem Degradada demonstrou também a maior capacidade explicativa entre todas as interações com os ABC Valores, apresentando $R^2 = 0,115$ (Fig. 5 G).

Os gráficos de Boxplots, em geral, indicaram uma clara segmentação entre as classes de acesso ao Programa ("Yes" e "No"). Os Boxplots apresentados na Figura 5 e Tabela 4, demonstram que os municípios que acederam ao crédito (Yes) têm valores médios superiores aos que não acessaram (No) para as

variáveis estudadas. No entanto, foram observadas duas exceções, para as variáveis Pastagens Intermediárias Degradadas e Pastagens Não Degradadas. Para Pastagens Intermediárias Degradadas foi observado valores iguais de boxplots, e para Pastagens Não Degradadas foi observado médias superiores para a classe de municípios que não acessaram o Programa, a única exceção dentre todas as variáveis estudadas (Fig. 5 J e L).

Tabela 4. Valores de Boxplots para as variáveis estudadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Variável	Unid.	Aces.	Min.	1° Q.	Medi.	Média	Erro +/-	3° Q.	Máx.
Silvicultura	km ²	Yes	0	0.01	0.08	0.39	0.03	0.45	3.21
		No	0	0	0.04	0.12	0.01	0.13	0.88
Plantio Direto	m ²	Yes	0	0	292.8	1517.3	110.6	1674.4	14488
		No	0	0	179.1	411.5	36	554.9	3187
Bovino	Cab.	Yes	7.88	33.7	50.9	58.8	5.53	79.8	158
		No	9.26	23.4	31.6	34.9	0.97	43	81.2
Degradado	%	Yes	0	3.4	11.3	16.5	0.67	25.2	69.5
		No	0	1.5	5.31	9.6	0.65	14.2	44.4
Int. Degradação	%	Yes	10.9	29.5	39.1	39.9	0.62	51.4	74
		No	4.63	24	43	39.6	1.13	55.5	74.4
Não degradado	%	Yes	3.97	22.7	40.7	44.4	1	65.3	96
		No	4.9	29.5	46.8	50.2	1.57	72.8	98.5

Classe de acesso ("Yes" e "No"), para: Mínimo (Min.); Primeiro quartil (1°Q); Mediana; Média; Erro (+/-); terceiro quartil (3°Q); e Máximo (Max).

As pastagens degradadas apresentaram média superior para os municípios que não tinham acesso ao Programa (No), com uma diferença média entre as classes de 6,9% (Fig. 5 H). Para Pastagens Não Degradadas, foi observada uma relação inversa à apresentada pela variável Pastagens Degradadas (Fig. 5 H e L). Portanto, foi demonstrado que os municípios que nunca acederam aos créditos do Programa (No) possuem médias mais elevadas que aqueles que acessaram ao menos uma vez (Yes), com uma diferença entre as médias de 5,8%.

5.2. Impacto dos Recursos do Programa ABC na Adoção de Sistemas Agropecuários Sustentáveis em Minas Gerais: Abordagem temporal contínua

A Figura 6 mostra as regressões lineares desenvolvidas para compreender os impactos do crédito sobre as variáveis estudadas ao longo do tempo. Para ABC Valores (Mil US\$) entre: Silvicultura (km²) (A); Bovino (Cabeça)

(B); Pastagens Degradadas (%) (C); Pastagens de Degradação Intermédia (%) (D); Pastagens Não Degradadas (%) (E), como descrito na seção 4.4.2., a análise contou com a séries históricas de 2013 a 2020, utilizando municípios que acederam ao Programa em 6, 7 ou 8 anos.

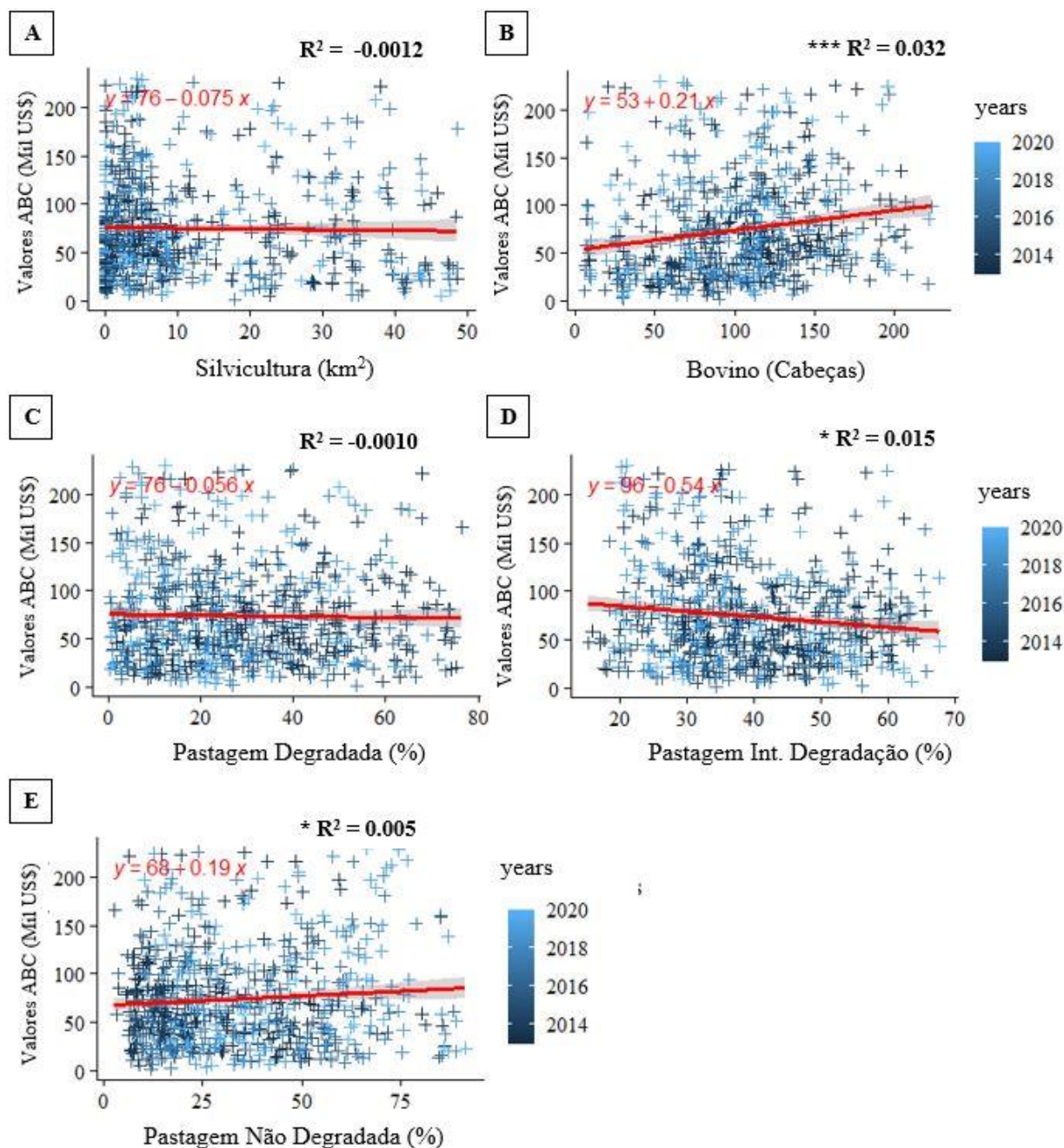


Figura 6: Regressão linear significativa quando: $p < 0,005 = "**"$; $p < 0,01 = "***"$; e $p < 0,001 = "****"$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Silvicultura (Fig. 6 A) não foi significativa quando comparada com ABC Valores (Mil US\$) ($p > 0,05$), indicando a variável ABC Valores não foi capaz de explicar a variável Silvicultura. Para Bovinos (Fig. 6 B), foi observado significância ($p < 0,001$) e uma relação positiva, explicada por $R^2 = 0,032$. Este resultado

demonstrou que a cada unidade ampliada de Bovinos em média por agricultor, se amplia também 0,21 mil US\$ em média por contrato do programa ABC (Fig. 6 B).

E relação a qualidade das pastagens (Fig. 6 C, D e E), todas demonstraram significância estatística ($p < 0.05$), exceto Pastagens Degradadas (%) ($p > 0,05$). Pastagens Não Degradadas (%) e Pastagens de Degradação Intermédia (%), demonstraram relação com ABC Valores (Mil US\$) interação diretamente proporcional ($R^2 = 0,005$) e inversamente proporcional ($R^2 = 0,015$), respectivamente. Assim, portanto, observou-se que à medida que se amplia uma unidade percentual em média por agricultor com Pastagens Não Degradadas, também se amplia 0,19 mil US\$ em média por contrato nos municípios de Minas Gerais (Fig. 6 E). O inverso é observado para Pastagens de Degradação Intermédia, sendo que à medida que se amplia uma unidade percentual em média por agricultor com Pastagens de Degradação Intermédia, se reduz 0,54 mil US\$ em média por contrato nos municípios de Minas Gerais (Fig. 6 D).

Para melhor compreender as interações entre as variáveis, foram realizadas análises complementares de regressão linear, que não foram representadas graficamente. Assim, em geral, as variáveis agrícolas também mostraram significado entre si para a análise da regressão linear. A regressão linear da Pastagens de Degradação Intermédia (%) entre Silvicultura (km^2) e Bovino (cabeças) mostrou significado em $p < 0,001$ e $p < 0,05$, respectivamente. Para esta interação, a Silvicultura (km^2) demonstrou um comportamento decrescente ($y = 42 - 0,29 x$), com R^2 de 0,112. Entretanto, a tendência para Bovino (Cabeças) mostrou um comportamento de crescimento ($y = 36 + 0,019 x$), com um R^2 de 0,004.

Regressão linear entre Silvicultura (km^2) e Bovino (Cabeças), também foi significativa ($p < 0,001$). Para esta relação, foi demonstrado um comportamento decrescente ($y = 24 - 0,1 x$), de e R^2 de 0,095. O mesmo foi observado para Pastagens Não Degradadas (%) e Silvicultura (km^2) ($p < 0,001$), mostrando comportamento decrescente ($y = 41 - 0,61 x$), com R^2 de 0,150.

5.3. Impacto do crédito do Programa ABC na emissão de carbono do Uso e Ocupação do Solo: Equivalente a CO₂ da Agricultura (tCO₂eq.)

A Figura 7 mostra a correlação Spearman para a variável ABC Valores (Mil US\$), características agropecuárias (tecnologias de mitigação) e qualidade

das pastagens (uso e ocupação do solo) em nível municipal no estado de Minas Gerais, com os municípios que acessaram o Programa ABC 6, 7 ou 8 vezes. Não é significativa quando representada por "X", "Vermelho" para interações inversas e "Azul" para interações diretamente proporcionais. Para as variáveis: ABC Valores (Mil US\$); Produção Interna Produzida (PIB) da Agricultura; Bovino (cabeças); Unidade Animal; Pastagens Degradadas (%); Pastagens de Degradação Intermédia (%); e Pastagens Não Degradadas (%). Silvicultura (km²); e CO₂ equivalente (tCO₂eq.) de Agricultura (Mudança do Uso da Terra e Emissões da Agropecuária).

Nesta abordagem, foram adicionadas variáveis financeiras (PIB Agricultura Mil US\$), emissão de carbono da agricultura (tCO₂eq.), frequência de acesso (Tempo de Acesso – Anos), e valores de Unidade Animal em peso vivo (Unidade Animal - 450 kg vivo).

Vale a pena mencionar que a relação entre tecnologias de mitigação e ocupação, bem como o uso e ocupação da terra com os ABC Valores (Mil US\$), foi desenvolvida na secção anterior. Portanto, nesta secção foi priorizado demonstrar os resultados das análises capazes de explicar as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) através do Programa ABC nos municípios de Minas Gerais.

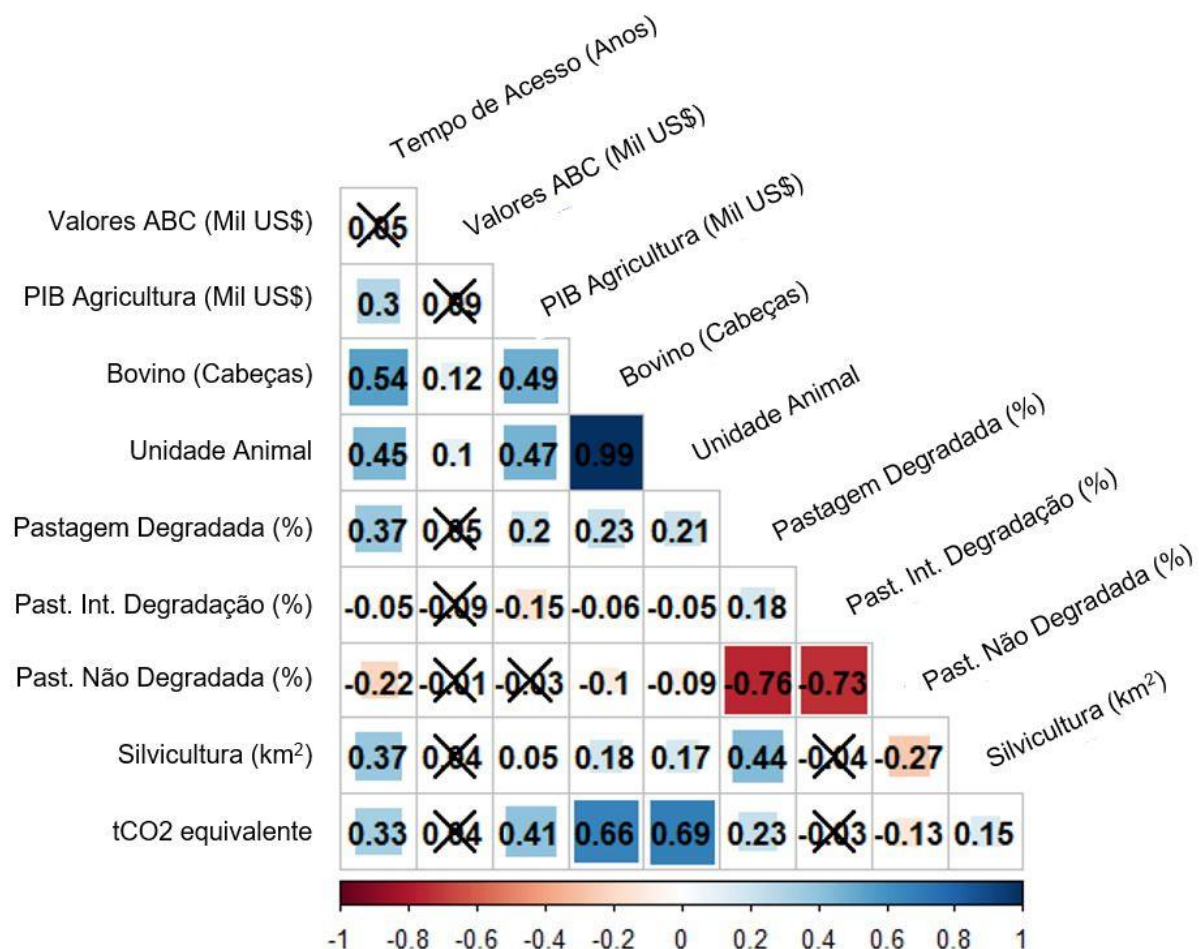


Figura 7: A correlação linear de Spearman ($p < 0,05$) de 2015 a 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise de Spearman mostra relação significativa entre todas as variáveis estudadas e o Tempo de Acesso (Anos) ($p < 0,05$), com exceção para ABC Valores (Mil US\$) ($p > 0,05$). O Tempo de Acesso foi positivo e significativo para o PIB Agrícola (US\$) (0,30), Bovino (cabeças) (0,54), Unidade Animal (0,45), Pastagens Degradadas (%) (0,37), Silvicultura (km²) (0,37) e toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq.) (0,33), com todas as correlações de força moderada. Tais resultados demonstram que o comportamento dos dados representa um aumento proporcional e significativo entre as variáveis, ou seja, as variáveis crescem proporcionalmente com força moderada uma em relação a outra (Fig. 7).

Uma relação negativa, contudo, significativa e de baixa força, foi observada entre Tempo de Acesso, Pastagem Intermediária Degradação (%) (-0,05) e Pastagens Não Degradadas (%) (-0,22), assim, a relação entre as variáveis demonstrou que à medida que uma variável decresce, as outras crescem. Os ABC Valores (Mil US\$) mostraram uma correlação estatística com Bovino (0,12) e Unidade Animal (0,10), ambas relações de força fraca e positiva

(Fig. 7), portanto, a relação entre as variáveis demonstrou que à medida que uma variável cresce as outras também crescem.

O PIB Agricultura (Mil US\$) mostrou significância com todas as variáveis ($p < 0,05$), exceto para as Pastagens Não Degradadas (%) ($p > 0,05$). Além disso, foi observada uma relação positiva de força moderada para a PIB Agricultura (Mil US\$) entre Bovino (0,49), Unidade Animal (0,47), Pastagens Degradadas (0,20), Silvicultura (0,05), e tCO₂eq. (0,41), com força fraca apenas para as duas últimas. Também foi observada uma relação significativa e negativa da força fraca entre o PIB Agricultura (Mil US\$) e Pastagem de Degradação Intermédia (-0,15).

O tCO₂eq. não se correlacionou apenas com ABC Valores (Mil US\$) e Pastagens de Degradação Intermédia ($p > 0,05$). Tais resultados demonstram que os ABC Valores (Mil US\$) não demonstrou relação com tCO₂eq., portanto, uma variável não se relacionou significativamente ou a outra. Entretanto, tCO₂eq. demonstrou uma relação positiva de força moderada com o Tempo de Acesso (0,33), PIB Agricultura (0,41), Bovino (0,66), Unidade Animal (0,69) e força fraca com Pastagens Degradadas (0,23). É importante salientar que o tCO₂eq. mostrou uma relação de força fraca significativa com Pastagens Não Degradadas (-0,13).

A Figura 8 apresenta os gráficos de Boxplots diferenciados por classes: Tempo de Acesso (Anos) (Fig. 8 A e B); e Classes de Emissões (toneladas) Fig. 8 C, D, E, F, G, H, I e J). Os gráficos de Bloxplots foram diferenciados pelo teste de hipótese Duncan ($p < 0,05$), significativo quando representado por letras semelhantes (Fig. 8). A Figura 8 A e B buscou demonstrar as classes Tempo de Acesso (Anos) apenas para as variáveis ABC Valores (Mil US\$) e do PIB Agrícola (Mil US\$), porque na análise anterior (Fig. 8) foram desenvolvidas análises capazes de explicar o comportamento de possível Tempo de Acesso (Anos) com as demais variáveis estudadas.

O Tempo de Acesso (Anos) demonstrou, a partir do teste de hipóteses, que municípios com acesso inferior a 2 anos (média de 49,73 Mil US\$) e acesso entre 3 e 5 anos (média de 64,57 Mil US\$), receberam valores semelhantes estatisticamente do Programa ABC (Fig. 8 A). Por outro lado, a análise estatística mostrou que os municípios com acesso há mais de 6 anos (média de US\$ 80,36) recebem mais recursos do que outras classes ($p < 0,05$) (Fig. 8 A). Além disso, o Tempo de Acesso (Anos) para o PIB Agricultura (Mil US\$) mostrou que quanto

mais longos os anos de acesso, maior o PIB Agricultura, sendo para a primeira classe "Menos de 2" uma média de 8,78 Mil US\$, a segunda classe "Entre 3 e 5" uma média de 9,76 Mil US\$, e a terceira classe "superior a 6" uma média de 15,62 Mil US\$ (Fig. 8 B).

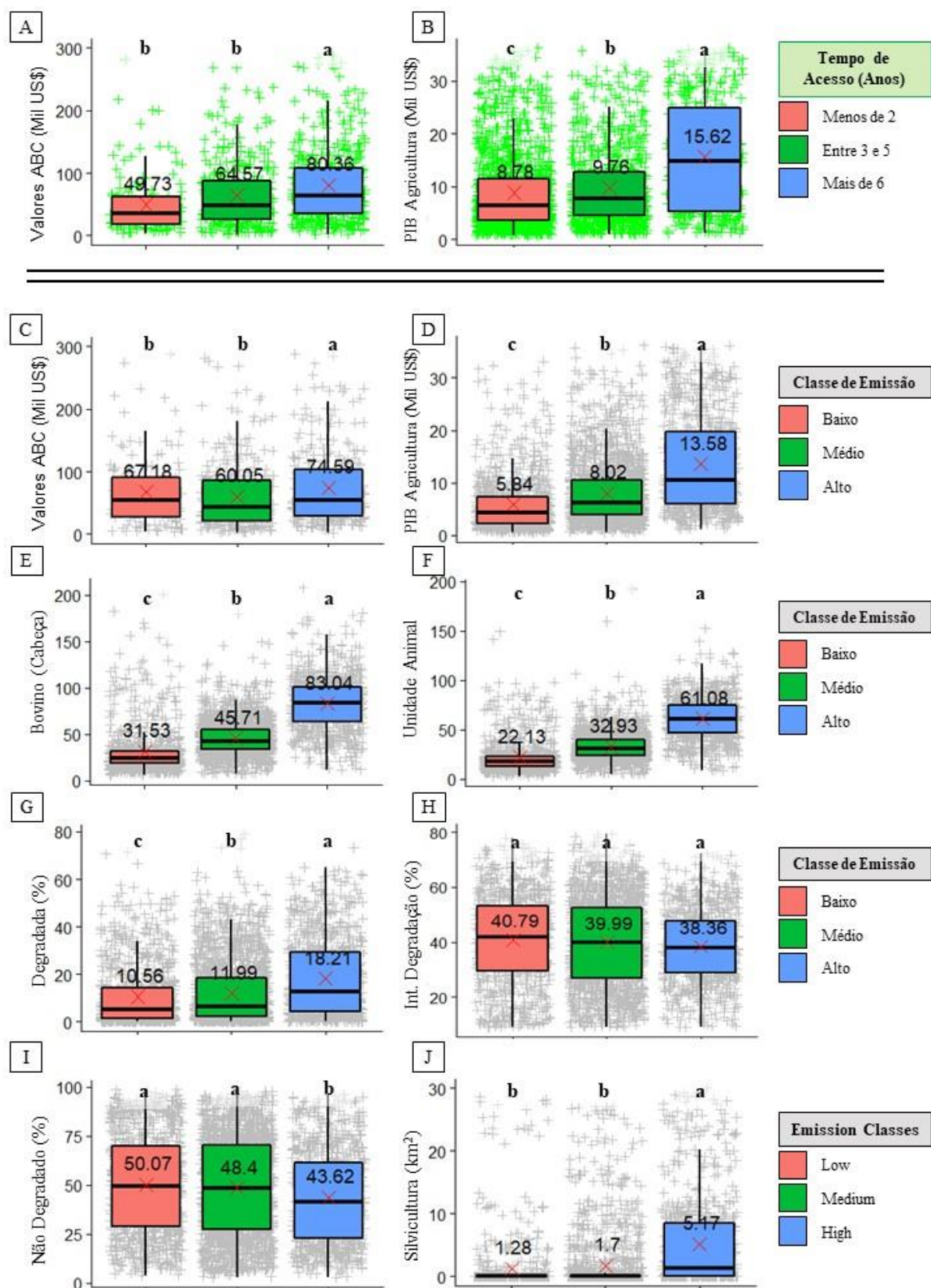


Figura 8: Boxplots para as variáveis estudadas, entre as Classes de Tempo de Acesso (Anos) e de Emissões (Baixa, Média e Alta). Teste de hipótese Duncan ($p < 0,05$), significativamente diferente quando representado por letras diferentes.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como as classes de Emissão (Fig. 8 C, D, E, F, G, H, I e J), estas apresentaram para ABC Valores (mil US\$) similaridade estatística entre baixa emissão (média de 67,18 Mil US\$) e média (média de 60,05 Mil US\$), porém, uma classe de alta emissão (média de 74,59 Mil US\$) apresentou uma diferença estatística entre os demais, indicando que os municípios com maior pegada de carbono proveniente da agricultura (Mudança de Uso do Solo + Agropecuária) recebem maior valor do ABC Valores (Mil US\$) (Fig. 8 C).

O PIB Agricultura (Mil US\$) mostrou diferença estatística ($p < 0,05$) para todas as classes de emissões (Fig. 8 D). Foi observada uma média de US\$ 5,84 Mil para a classe de emissão "Baixa", para a classe de emissão "Média" US\$ 8,02 Mil, e para a classe de emissão "Alta" US\$ 13,58 Mil. Portanto, quanto mais alta for a classe de emissão do município, também o PIB Agricultura (Mil US\$) é mais alto (Fig. 8 D).

O mesmo foi observado para as variáveis: Bovino (cabeças); Unidade Animal; e Pastagens Degradadas (%) (Fig. 8 E, F e G). Neste caso, foi apresentada uma relação do aumento das classes de emissão com as variáveis mencionadas. Portanto, quanto maior a classe de emissão, maior o número de Bovino (cabeças), Unidade Animal, e Pastagens Degradadas (%). A variável Bovino tinha para a classe de emissão 'Baixa' uma média de 31,53 cabeças, 'Média' 45,71 cabeças, e 'Alta' 83,04 cabeças. As variáveis Unidade Animal e Pastagem Degradada (%) apresentaram para as classes Baixa, Média e Alta, 22,13, 32,93, e 61,08, e 10,56%, 11,99%, e 18,21%, respectivamente.

Pastagem de Intermédias Degradadas (%), demonstraram que todas as classes de emissões não diferiam estatisticamente ($p > 0,05$) (Fig. 8 H). Para as variáveis Pastagens Não Degradadas (%) e Silvicultura (km^2), as classes de emissão 'Baixa' e 'Média' desmontaram ser iguais estatisticamente ($p > 0,05$) (Fig. 8 I e J). Vale a pena notar que para a classe de emissões elevadas, classificadas neste estudo como altas, observa-se diferença estatística para Pastagem Não Degradadas (%) e Silvicultura (km^2).

Para a Pastagem Não Degradadas (%) observou-se que municípios classificados com alta emissão demonstram possuir baixas quantidades relativas de pastagens de boa qualidade. Entretanto, para Silvicultura (km^2) foi observado que municípios classificados com alta emissão demonstram possuir também altas

quantidades área plantada com espécies de Silvicultura (Fig. 8 I e J). Assim, portanto, os municípios com elevados valores de emissão de carbono apresentaram uma menor quantidade de Pastagens Não Degradadas (%), enquanto os municípios com grandes áreas de produção de Silvicultura (km²) apresentaram um maior nível de emissões.

A Figura 9 foi desenvolvida para demonstrar a relação do equivalente de toneladas de CO₂ equivalente da Agricultura (tCO₂eq.) com outras variáveis, com base na análise estatística de regressão linear. Os resultados foram apresentados por meio de R² ajustado e significância estatístico quando representado por $p < 0,005 = "**"$; $p < 0,01 = "***"$; e $p < 0,001 = "****"$, para tCO₂eq. (Mudança do Uso da Terra e Emissões Pecuárias) entre: PIB Agricultura (Mil US\$); Bovinos (cabeças); Unidade Animal; Pastagens Degradadas (%); Pastagens de Degradação Intermédia (%); Pastagens Não Degradadas (%); Silvicultura (km²); ABC Valores (Mil US\$). Vale a pena mencionar que, para esta análise, foram utilizados municípios mineiros com 6, 7, e 8 anos de tempo de acesso, em período de 2015 a 2019 (Seção 4.4.3).

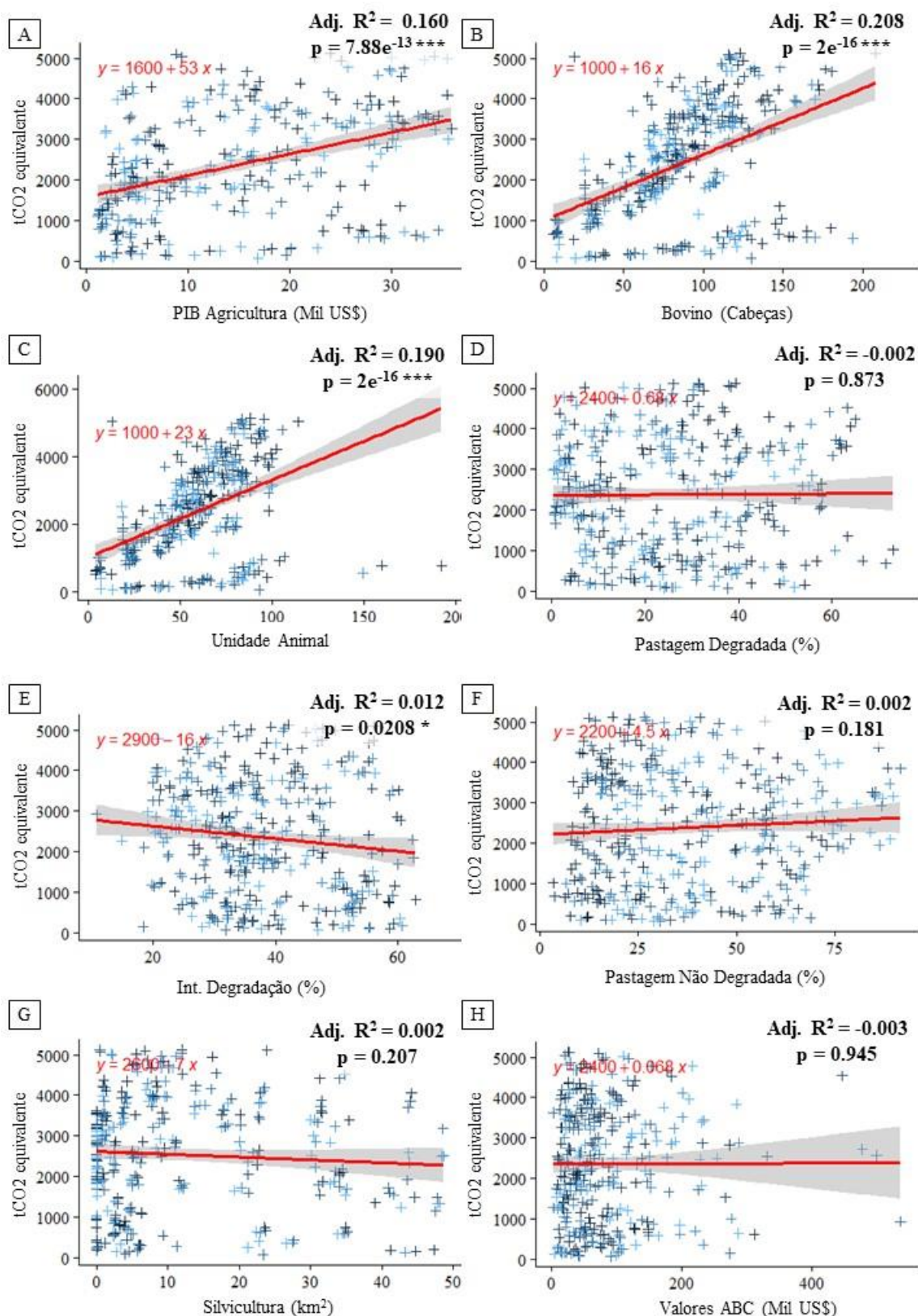


Figura 9: Gráfico de Regressão Linear, significativo quando representado por: $p < 0,005$ = "***"; $p < 0,01$ = "**"; e $p < 0,001$ = "****".

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi observada uma relação significativa entre o tCO₂eq. e PIB Agricultura (Mil US\$) com R² de 0,160 e $p < 0,001$, através de uma tendência de crescimento

linear, portanto, observou-se que a cada crescimento de Mil US\$ em média no PIB Agricultura por agricultor, se amplia também 24 tCO₂eq. Em média por agricultor nos municípios de Minas Gerais (Fig. 9 A). Foi observada a mesma relação para tCO₂eq. entre Bovino (cabeça) e Unidade Animal (Fig. 9 B e C), ambas com significância estatística ($p < 0,001$) e ajustada R^2 de 0,208 e 0,190 para Bovino e Unidade Animal, respectivamente. Entretanto, a relação entre os ABC Valores (Mil US\$) e o tCO₂eq. não demonstrou significância estatística ($p > 0,05$) (Fig. 9 H). Assim, portanto, o crescimento de tCO₂eq. foi explicada pelo crescimento das variáveis Bovino e Unidade Animal, entretanto, o portamento de tCO₂eq. não foi explicado pelo comportamento da variável ABC Valores.

Pastagens Degradadas (%) e Não Degradadas (%) em relação ao tCO₂eq. não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$) (Fig. 9 D e F). Além disso, para a Silvicultura (km²) e tCO₂eq. também não foi observada significância estatística (Fig. 9 G). Contudo, foi observada significância entre Pastagens de Degradação Intermédia (%) e tCO₂eq. ($p < 0,05$), com R^2 ajustado de 0,02.

6. DISCUSSÃO

6.1. Quais as principais características agrícolas responsáveis por impactar o fluxo de crédito do Programa ABC: Abordagem temporal fixa?

Este trabalho foi capaz de ampliar a compreensão do impacto do Programa ABC nos seus objetivos: recuperação de pastagens degradadas; expansão da área de florestas plantadas; e adoção de sistemas de plantação direta (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018a; RODRIGUES et al., 2016). Os objetivos relacionados com a fixação biológica de nitrogénio, tratamento de resíduos animais e sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, não foram estudados devido à falta de dados disponíveis (CENSO AGROPECUARIO, 2017; IBGE, 2020; RODRIGUES et al., 2016).

Vale destacar que o Programa ABC não possui como objetivo a expansão da criação de bovinos (RODRIGUES et al., 2016). No entanto, como demonstrado por GIANETTI; FERREIRA FILHO, (2021), o número de cabeças de bovinos impactada diretamente os valores acessados pelos municípios, sobretudo porque estes números influenciam também o Produto Interno Bruto (PIB) municipal. Portanto, devido à sua contribuição para a compreensão dos dados, a variável

Bovino foi também acrescentada às análises envolvendo as características agrícolas dos municípios de Minas Gerais (GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018).

Pelos dados do estudo realizado, a relação significativa entre ABC Valores (Mil US\$) e Bovino (Cabeças) para a abordagem temporal fixa (Fig. 5 E), demonstra que os municípios com maiores quantidades de Bovinos são também aqueles que mais acessam o Programa ABC ($R^2 = 0,036$), corroborando com conclusões observadas também por Carauta et al. (2021) e Ivasko júnior et al. (2020). Os Boxplots (Fig. 5 F) para estas variáveis destacam este resultado, onde os municípios que acessaram ao Programa, ao menos uma vez, tiveram números mais elevados de Bovinos do que aqueles que não o acederam, com valores médios para Yes de 58,9%, e No de 35,0%.

A relação positiva expressa pelo ABC Valores (Mil US\$) e Pastagem Degradada (%), demonstra que os recursos do Programa foram direcionados para municípios com maiores concentrações de pastagens degradadas ($R^2 = 0,115$ e $p < 0,001$). O contrário é observado para os municípios com maiores quantidades de Pastagens Não Degradadas (%), também significativo em relação a ABC Valores (Mil US\$), entretanto, com tendência negativa da linha. Este resultado demonstra que os municípios com maiores concentrações de Pastagens Não Degradadas recebem quantidades decrescentes de recursos ($R^2 = 0,046$ e $p < 0,01$).

Gianetti et al. (2021) também observou tais comportamentos, observando que a relação expressa entre crédito e rebanho bovino era maior do que a relação observada entre crédito e pastagens degradadas, algo que não foi observado neste trabalho (Fig. 5 E e G). Segundo o autor, esta relação explica como o fluxo de crédito do Programa ABC está diretamente relacionado com os atributos econômicos, portanto, pouco relacionado com os atributos ambientais das macrorregiões estudadas (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

Com base nas observações feitas por Gianetti et al. (2021), os resultados mostrados por regressão linear ($p < 0,001$) e correlação Spearman (0,16) entre Pastos Degradados e Bovinos (Fig. 4 e 5), destaca-se um argumento adicional para explicar a relação entre as variáveis. O comportamento diretamente proporcional observado para estas análises, em acordo com a relação também

positiva e significativa entre os ABC Valores (Mil US\$) e Pastagens Degradadas (Fig. 5 G), demonstra que o crescente fluxo de crédito do Programa para Bovinos é também explicado pela relação que a variável Bovino tem com a classe Pastagens Degradadas (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018a).

A significância de Pastagens Degradadas (%), Bovinos (Cabeças) e ABC Valores (Mil US\$), é explicado pelo processo de degradação das pastagens. De acordo com Dias-filho (2017), o alto nível de pastejo (sobrepastoreio) é uma das principais causas do processo de degradação. O número excessivo de animais se alimentando da forragem, pisoteando, compactando o solo e dificultando a recuperação da cultura, são fatores responsáveis pela geração de condições de stress e degradação (DIAS-FILHO, 2017). Portanto, o crédito dirigido aos municípios com maiores quantidades de Bovinos, é também explicado pelo crédito atribuído à conversão de pastagens degradadas, uma vez que estão condições de degradação também porque têm números mais elevados de Bovinos por área (DIAS-FILHO, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; GOMES; ARAÚJO, 2018a; IVASKO JÚNIOR et al., 2020).

Além disso, Gianetti et al. (2021) demonstram que o crédito do Programa tem sido especialmente direcionado para a recuperação de pastagens degradadas, também em resposta aos compromissos firmados na COP 15 e 21 (CONCEIÇÃO et al., 2017; GHELLER; GAZOLLA; MARINI, 2019). A significância estatística entre ABC Valores (Mil US\$) e Pastagem Degradada (%), corrobora as observações dos autores GHELLER; GAZOLLA; MARINI, (2019).

De acordo com Dias-filho (2017), a melhoria da qualidade das pastagens também proporciona uma maior capacidade de suporte aos animais. Contudo, o aumento da capacidade de sequestro de CO₂ das pastagens não é necessariamente compensado pelo aumento das emissões de metano (CH₄) pelo gado, tornando o balanço de carbono do sistema mais difícil de contabilizar (ABDALLA et al., 2018; CONCEIÇÃO et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2017).

De acordo com Carauta et al. (2021), o aumento da qualidade das pastagens não faz necessariamente do modelo de produção um sistema neutro na pegada de carbono. O balanço real de carbono no sistema de produção bovino

depende principalmente das espécies animais e das pastagens utilizadas (CARAUTA et al., 2021; FIGUEIREDO et al., 2017; PARRA et al., 2019)

Para Plantio Direto (m^2), apesar de demonstrar Boxplots com médias superioridade em 3 vezes entre municípios que acessaram (Sim; 2040 m^2) e que não acessaram (Não; 640 m^2), não foi observada qualquer significância estatística ($p>0,05$) para a regressão linear e correlação Spearman (Fig. 4 e 5). Este resultado permite concluir que não existe relação entre o fluxo de ABC Valores e o Plantio Direto em Minas Gerais (Fig. 5 C e D).

A Silvicultura (km^2) mostrou significado para a dinâmica de Spearman (0,21) e a regressão linear ($p<0,01$) (Fig. 4 e 5). Estes resultados demonstram que existe uma relação entre o fluxo de crédito do Programa ABC e os municípios com maiores quantidades de área de Silvicultura. Portanto, os municípios que têm mais créditos são também aqueles que têm maiores quantidades da área destinada à Silvicultura (Fig. 5 A e B).

As Pastagens Degradadas (%) mostraram significância estatística para a Silvicultura (km^2), Bovino (Cabeças) e Plantio Direto (m^2) ($p<0.001$). Estes resultados demonstram que os municípios com maiores valores de pastagens degradadas, têm também maiores quantidades de áreas plantadas com espécies silvícolas, o número de cabeças de Bovino e áreas de Plantio Direto (m^2). Este fato expõe um importante janela de oportunidades para os municípios de Minas Gerais.

Tais resultados demonstram a oportunidade existente nos municípios estudados, e a possibilidade de poder agrupar estas variáveis para uma maior extração de CO_2 da atmosfera dos sistemas de produção integrada (CONCEIÇÃO et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2017; PARRA et al., 2019a). De acordo com Conceição et al. (2017) e Pacheco et al. (2012), a utilização do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Florestal (ILPF) é uma ferramenta fundamental para recuperar os níveis de carbono do solo, ao mesmo tempo que aumenta a produtividade vegetal, animal e econômica (CARRER et al., 2020; VINHOLIS et al., 2021).

Conceição et al. (2017) e Pacheco et al. (2012), demonstram que o sistema ILPF é capaz de apresentar um potencial considerável de sequestro de CO_2 , atingindo valores semelhantes aos encontrados nas florestas nativas. Mais

do que produzir alimentos de grande valor nutricional, como carne e leite, também proporciona benefícios ambientais, tais como cobertura do solo a longo prazo, fixação de carbono e aumento das reservas de matéria orgânica, além de contribuir para a redução da emissão de carbono da produção de carne de bovino (CONCEIÇÃO et al., 2017; PACHECO et al., 2012). Vale a pena lembrar que a implantação de sistemas ILPF faz parte dos objetivos perseguidos pelo Programa ABC, não sendo abordado pelo presente trabalho devido à falta de dados para a série cronológica estudada (CARRER et al., 2020; NEWTON et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016).

6.2. O crédito rural do Programa ABC impactou a sustentabilidade do uso e ocupação do solo em Minas Gerais, Brasil?

Na Silvicultura (km²), não foi observado qualquer significância estatística com os ABC Valores (Mil US\$) (Fig. 6), demonstrando, portanto, que ao longo do tempo o acesso ao crédito não teve um impacto significativo no incremento ou redução da área plantada com silvicultura. No entanto, de acordo com o MAPBIOMAS (2022), em 2013 as áreas plantadas com espécies florestais eram cerca de 16 085 km², e em 2020 subiram para 18 241 km², um aumento de 2 156 km² para o período. Portanto, foi observado um aumento da área florestal em Minas Gerais, contudo, os resultados observados no presente estudo demonstram que este crescimento não está estatisticamente relacionado com o acesso ao Programa ABC (Fig. 6 A).

Não foi observado significância estatística para as pastagens degradadas (%), portanto, não foram observadas alterações significativas ao longo do tempo na área de pastagens degradadas devido ao acesso ao crédito (Fig. 6 C). No entanto, por serem valores percentuais entre as classes de pastagens, a redução das quantidades de Pastagens Degradadas (%) e Pastagens de Degradação Intermédia (%) ($p < 0.05$), determinaram o aumento significativo ($p < 0.05$) dos valores das Pastagens Não Degradadas (%) (Fig. 6 C, D e E).

De acordo com o ATLAS DAS PASTAGENS (2022) em 2013, o total de pastagens degradadas no estado de Minas Gerais era de 119.051 km². Em 2020, este montante foi de 70.309 km², uma redução de 40,94% entre os finais da série temporal estudada (Fig. 6) (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; PARENTE et al., 2019). Parente et al. (2019) também demonstra que pastagens com níveis intermédios de degradação aumentaram de 187 210 km² em 2013, para 147 483

km² no ano 2020 (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; PARENTE et al., 2019). Estes resultados demonstram um decréscimo de 39 727 km² (Fig. 6 e 7).

Além disso, os resultados mostraram que o crédito acessado pelos municípios teve um impacto significativo sob Bovino (Cabeças), Pastagens de Degradação Intermédia (%) e Pastagens Não Degradadas (%) (Fig. 5). Estes resultados demonstram que o crédito rural, de acordo com a frequência de acesso, está relacionado com um aumento do Bovinos ($p < 0,001$) e Pastos Não Degradado ($p < 0,05$), e uma redução no Pasto com Degradação Intermédia ($p < 0,05$) no Estado de Minas Gerais.

A influência no crédito do Programa, a partir de uma visão geral do estado, foi demonstrada na Figura 10, para ajudar a compreensão das variáveis em Minas Gerais. Assim, foram utilizados mapas para cada uma das variáveis estudadas na abordagem temporal contínua, recortadas de 2013 a 2020, os dois extremos da série temporal estudada. Formação Florestal e Silvicultura (km²) (A e B); Bovino (Cabeça) (C e D); Pastagens Degradadas (km²) (E e F); Pastagens de Degradação Intermédia (km²) (G e H); Pastagens Não Degradadas (km²) (I e J).

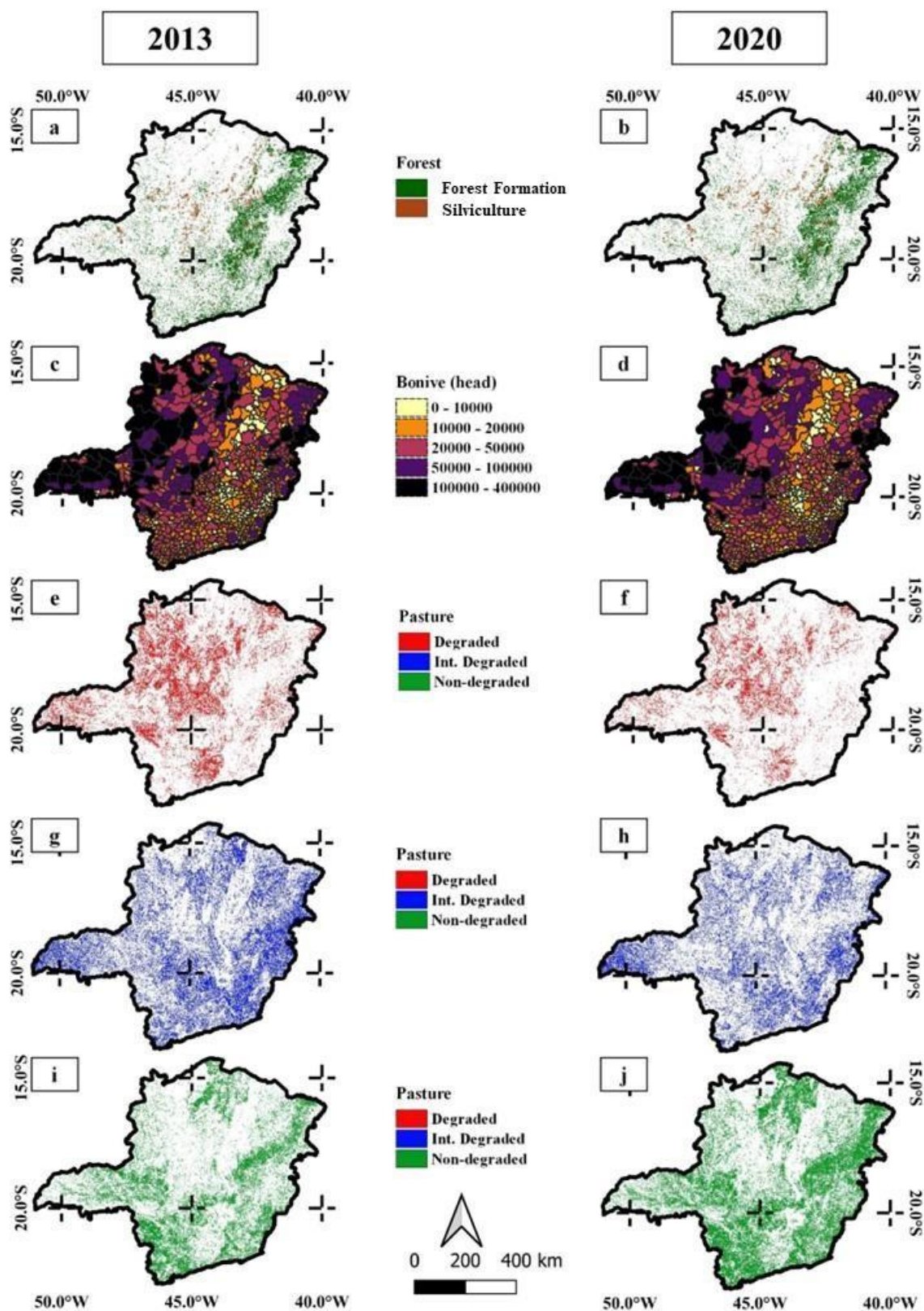


Figura 10: Estado de Minas Gerais, Brasil. Período de tempo representado para o ano 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Resultados significativos ($p < 0,05$) de uma tendência positiva para abordagem temporal contínua, observada para Pastagens de Degradação

Intermédia (%) e Pastagens Não Degradadas (%), permitem concluir que as pastagens degradadas vêm sendo convertidas em pastagens de melhor qualidade em Minas Gerais (Fig. 6 e 10). A melhoria da qualidade das pastagens permite o aumento da capacidade de suporte dos animais, ajudando a recuperação vegetativa após o pastoreio, além de aumentar a capacidade de fixar o CO₂ atmosférico e sua deposição e armazenamento no solo (ABDALLA et al., 2018; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017; DIAS-FILHO, 2017; GOMES et al., 2019).

Abdalla et al. (2018) e Figueiredo et al. (2017) apontam que o fluxo de CO₂ do solo para as pastagens de intermédia degradação e degradadas, são cerca de 41% e 15%, respectivamente. Além disso, as emissões de CO₂ foram contabilizadas como baixas, altas e médias, para pastagens caracterizadas como não degradadas, intermediariamente degradadas e altamente degradadas, respectivamente (ABDALLA et al., 2018). Estes resultados demonstram que, tão importante quanto converter pastagens degradadas em pastagens com melhor qualidade vegetativa, é essencial que as pastagens de degradação intermediariam sejam também convertidas, para proporcionar menores emissões de CO₂ para a atmosfera e maior fixação de carbono no solo (ABDALLA et al., 2018; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017).

Portanto, do ponto de vista da redução das emissões de carbono, a melhoria das pastagens de degradação intermédia é também um instrumento estratégico para a mitigação das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) (ABDALLA et al., 2018; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017). Pastagens que ainda não apresentam níveis elevados de degradação possuem uma maior viabilidade econômica para recuperação, por possuírem maiores níveis de carbono já preservado no solo (ABDALLA et al., 2018; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017). Esta classe de pastagens oferece resultados de redução de emissões mais rápidos quando comparada com pastagens que já estão significativamente degradadas (ABDALLA et al., 2018; BULTE et al., 2000; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; TAVANTI et al., 2020).

Para Pastagens Não Degradadas (%) em 2013, foram registrados cerca de 146 502 km² (MAPBIOMAS, 2022), sendo observado em 2020 valores de 221 235 km² (Fig. 10) (ATLAS DAS PASTAGENS, 2022; MAPBIOMAS, 2022). Estes

resultados revelam um aumento na área de Pastagens Não Degradadas de 74.733 km², ou 48%.

Tais resultados demonstram que as características agrícolas dos maiores tomadores de crédito do Programa ABC, exibidas na abordagem temporal fixa (Fig. 4 e 5), são confirmadas na abordagem temporal contínua (Fig. 6). Portanto, estas observações demonstram que o fluxo de crédito destinado aos municípios com valores mais elevados de pastagens degradadas (Fig. 4 e 5), apresentaram aumentos significativos das pastagens não degradadas em Minas Gerais (Fig. 6).

A abordagem temporal contínua para Bovinos (cabeças) também mostrou significância estatística em comparações com ABC Valores (Mil US\$) ($p < 0,001$), com R^2 igual a 0,032. Acompanhando as transformações na qualidade dos pastos em Minas Gerais, a variável Bovino (Cabeças) também mostrou um impacto positivo do crédito ao longo do tempo (Fig. 5). Neste caso, o número total de Bovinos em 2013 foi de 24 201 256 cabeças e caiu para 22 165 606 cabeças em 2020, uma redução de 2 035 650 cabeças no período (CENSO AGROPECUARIO, 2017; IBGE, 2020).

Além disso, a análise de regressão linear complementar (não exibida em figuras) entre Pastagens de Degradação Intermédia (%) e Bovino (cabeças), mostrou significância estatística ($p < 0,001$) e comportamento crescente da linha de tendência. Portanto, pode-se concluir que o aumento ao longo do tempo das pastagens de degradação intermédia teve um impacto incrementador sobre o número de cabeças de bovinos nos municípios estudados.

6.3. O crédito rural do Programa ABC fez reduzir as emissões de tCO₂eq. Minas Gerais, Brasil?

A correlação de Spearman ($p < 0.05$) desenvolvida para os municípios do estado de Minas Gerais que acessaram o Programa ABC entre 2015 e 2019 (Fig. 7), foi elaborada buscando demonstrar ao longo desses anos as características agropecuárias municipais mais capazes de atrair valores do Programa ABC. Um importante destaque exibido por esta análise, foi a variável Tempo de Acesso (anos) (Fig. 7). Esta variável pode variar de 1 a 8 anos, relativos à frequência de acesso dos municípios dentro da série temporal estudada (8 anos). O comportamento desta variável demonstrou significância estatística com todas as variáveis, com exceção de ABC Valores (Mil US\$) ($p > 0.05$).

A análise para variável Tempo de Acesso (Anos), demonstrou que o a frequência de acesso dos municípios aos recursos do Programa ABC impacta positiva e significativamente as variáveis: PIB Agropecuária (Mil US\$), Bovinos (cabeça), Unidade Animal, Pastagem degradada (%), Silvicultura (km²), e tonelada CO₂ equivalente (tCO₂eq.), e negativamente as variáveis: Pastagem de Intermediária Degradação (%), e Pastagem Não degradadas (%).

Portanto, a relação positiva (diretamente proporcional) para estas análises, indicam que quanto maior são os valores das variáveis, maior a frequência de acesso ao crédito por parte dos municípios (Fig. 7). Assim, o inverso é observado para as relações negativas (inversamente proporcional) para estas análises, indicando que quando maior os valores de Pastagem de Intermediária Degradação (%), e Pastagem Não degradadas (%), menor a frequência de acesso ao crédito por parte dos municípios (Fig. 7).

O Boxplots e teste de hipótese demonstraram resultados similares aos observados pelas análises de correlação de Spearman entre Tempo de Acesso (Anos) e PIB Agropecuário (Mil US\$), demonstrando que quando maior o tempo de acesso ao Programa, maiores são os valores de PIB agrícolas dos municípios (Fig. 8 B). Em contrapartida, os resultados também exibidos pela análise de correlação de Spearman, destacam que a frequência de acesso não está relacionada significativamente ($p > 0.05$) com acessos com valores maiores, representados pela interação entre Tempo de Acesso (Anos) e ABC Valores (Mil US\$).

Assim, ao contrário do que foi observado para o recorde de 2017 e médias anuais de ABC Valores (Mil US\$), exibidas e caracterizadas na Abordagem Temporal Fixa (seção 2.5.1), apenas os valores de Bovinos (Cabeça) e Unidade Animal demonstram impactar o acesso aos valores de crédito do Programa ABC (ABC Valores Mil US\$), com valores de correlação de 0.12 e 0.10, respectivamente.

As interações entre PIB e o volume de recursos do Programa ABC forma observados por Barros (2017), Gianetti et al. 2021), e Leal (2016). Estes autores demonstraram que o comportamento do PIB nas regiões brasileiras é capacidade de explicar os montantes acessados do Programa ABC (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; LEAL, 2016). Barros (2017), Gianetti et al.

2021), e Leal (2016), demonstram que direta ou indiretamente, os valores do crédito rural do Programa ABC estão sendo direcionados para regiões mais capitalizadas. Vale destacar que, a influência do PIB Agricultura sobre o volume de acesso médio ao Programa ABC (Mil US\$) não foi observado pelo presente estudo. Entretanto, foi observado neste trabalho a influência do PIB Agricultura sobre a frequência de acesso aos recursos do Programa ABC.

Adicionalmente, algo não trabalho pelos autores brasileiros (BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021; LEAL, 2016), mas frequentemente destacados na literatura internacional sobre o tema (AZEVEDO et al., 2018; IPCC, 2017, 2021, 2022; SEEG, 2022), trata-se da relação existente entre PIB e emissão de Gases de Efeito Estufa, contabilizados neste estudo como tCO₂eq. por município.

Os resultados observados na análise de correlação e regressão linear demonstraram uma significativo e forte impacto do PIB Agricultura sobre a pegada de carbono nos municípios. Segundo IPCC (2017, 2021, 2022), o processo de queima de combustível fóssil, industrialização dos sistemas agrícolas e as mudanças no uso e ocupação da terra, são fatores associados ao PIB local e também a importantes fontes de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O para atmosfera.

Levando em consideração que segundo Barros (2017), Gomes (2018) e Rodrigues et al. (2016), um dos principais focos do Programa vem se demonstrando ser a recuperação de pastagem degradadas, segundo os autores, especialmente quando se observa a número de contatos e o volume de recurso destinado para essa atividade. Isto indica que a metodologia utilizada e discutida na seção 2.5.1 (Abordagem Temporal Fixa), ganha destaque como alternativa para entender e auxiliar na caracterizar os aspectos agropecuários mais relevantes responsáveis por ampliar o acesso municipal aos valores do Programa ABC, uma vez que, a abordagem em questão, os resultados corroboraram com aqueles exibidos por Barros (2017), Gomes (2018) e Rodrigues et al. (2016).

O CO₂ equivalente (tCO₂eq.) demonstrou interação significativa entre todas as variáveis, com exceção de ABC Valores (Mil US\$) e Pastagem de Intermediária Degradação (%) (Fig. 7). Tais resultados permitem concluir que, apesar do ABC Valores (Mil US\$) impactar significativamente o uso e ocupação

do solo em Minas Gerais (Fig. 6), a variável não demonstrou impacto nas emissões de gases de efeito estufa nos municípios estudados.

Vale destacar que, para o presente estudo não foram considerados valores de remoções de CO₂ da atmosfera na elaboração da variável tCO₂eq. (SEEG, 2022), aspecto diretamente impactado pelos objetivos determinados pelo Programa ABC (AZEVEDO et al., 2018; BARROS, 2017; SEEG, 2022). Os valores de remoção não foram considerados na elaboração da variável tCO₂eq., porque os recortes metodológicos estudos pela plataforma SEEG (2022), ainda não contabilizam a remoção de CO₂ atmosférico para as principais variáveis de uso e ocupação do solo estudadas pelo presente trabalho (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022).

O gráfico de Boxplots associado ao teste de hipótese de Duncan, buscou entender se municípios com maiores frequências de acesso ao Programa ABC são aqueles que também acessam maiores quantidades de recursos os Programa. Os resultados para este contexto demonstraram que o acesso a maiores volumes de crédito está relacionado com uma frequência de acesso igual ou maior que 6 anos (Fig. 8 A). A variável ABC Valores (Mil US\$) demonstrou ser igual estatisticamente para municípios que acessam o Programa ABC em 5 anos ou menos, portanto, apenas municípios que acessaram 6 anos ou mais demonstram também acessar maiores recursos da política.

Os resultados de tCO₂eq. observados para PIB Agropecuário (Mil US\$), Bovino (cabeças) e Unidade Animal, demonstraram relação positiva e estatisticamente significativa para a análise de correlação de Spearman (Fig. 7) e para Regressão Linear (Fig. 9 A, B e C). Importante observar que o mesmo ocorre para as análises envolvendo tCO₂eq. e PIB Agropecuário (Mil US\$), sendo que a diferença estatística entre as classes de emissão de GEEs (tCO₂eq.), demonstram que quanto maior as classes de emissões, maiores são os valores de PIB Agropecuário dos municípios (Fig. 8 D).

Os resultados observados a partir dos valores de Bovinos e Unidade Animal, destacam a relevância da contabilização do CH₄ (Metano) e N₂O (Óxido Nitroso) para os inventários municipais (AZEVEDO et al., 2018). Isto porque, de acordo com Azevedo et al. (2018), IPCC (2022, 2017) e SEEG (2022), CH₄ e N₂O

possuem Potencial de Aquecimento Global (GWP) de 21 e 310 vezes mais que a molécula de CO₂ (Dióxido de Carbono), respectivamente.

A interação significativa entre tCO₂eq. e Pastagens Degradadas (%) e Não Degradadas (%), não foi observada na análise de regressão linear ($p > 0.05$) mas observada na correlação de Spearman ($p < 0.05$) (Fig. 7 e 9 D, e F). Os resultados exibidos entre tCO₂eq. e Pastagens Degradadas na correlação (0.23), demonstram que a concentração de pastagens degradadas nos municípios estudados impacta diretamente maiores valores de GEEs emitidos ($p < 0.05$).

Por outro lado, os resultados exibidos por tCO₂eq. e Pastagens Não Degradadas (%), demonstram que quanto maior a concentração de pastagens de boa qualidade nos municípios estudados, menor é a emissão de GEEs, corroborando observações feitas por outros autores (ABDALLA et al., 2018; BARROS, 2017; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022; FIGUEIREDO et al., 2017; DIAS-FILHO; DAVIDSON, 2001).

Vale destacar novamente que não foi contabilizado para esta análise as remoções de CO₂ da atmosfera por parte da vegetação (AZEVEDO et al., 2018; SEEG, 2022). Portanto, os resultados observados entre tCO₂eq. e Pastagens Não Degradadas (%), expressam a influência da concentração das pastagens de bom vigor em relação as de baixo vigor (Degradadas), sobre a contabilidade do tCO₂eq. Emitido. Portanto, quando maior o bom uso do solo em relação ao total da área de pastagens no município, menor é a emissão total de gases do município (ABDALLA et al., 2018; CAMPOS; CERRI; SCALA JR, 2022).

Tais afirmações ganham destaque quando se observa o teste de hipótese (Fig. 7), que demonstram que as duas menores classes de emissões de GEEs são estatisticamente iguais entre si quanto a concentração de Pastagens Não Degradadas (%). Entretanto, a classe correspondente às maiores emissões de GEEs possuem estatisticamente menores quantidades de Pastagens Não Degradadas (%). Portanto, municípios com maiores quantidades de pastagem de bom vigor apresentaram menores montantes de emissão de GEEs (Fig. 7 I).

Apesar dos testes de hipótese para classes de tCO₂eq. não demonstrarem diferença estatística para Pastagens de Intermediária Degradação (%), os resultados exibidos pelas classes de emissões para Pastagens Degradadas (%), corroboram os resultados observados para Pastagens Não

Degradadas (%). Os testes de hipótese mostraram uma relação inversa para Pastagens Degradadas em comparação a Pastagens Não Degradadas, uma vez que municípios estatisticamente superiores em concentrações de Pastagens Degradadas (%) apresentam classes maiores de emissão de GEEs.

Esta mesma ideia pode ser utilizada como argumentação em relação aos resultados exibidos por tCO₂eq. e Silvicultura (km²), que demonstraram relação positiva (0.15) significativa para correlação de Spearman ($p < 0.05$). Em princípio, como demonstrado pelas emissões estimadas pelo SEEG (2022), o plantio de florestas secundárias são grandes responsáveis por remover carbono da atmosfera através da fotossíntese, algo não observado pelos resultados expostos aqui (Fig. 7, 8 e 9).

Segundo os resultados encontrados pelo trabalho, como não são contabilizadas as remoções de CO₂ atmosférico para os cálculos de tCO₂eq., foi observado que quando maior a área de Silvicultura (km²) maior também demonstraram ser os valores de emissão de GEEs (tCO₂eq.). O mesmo é observado para o Boxplot, onde os municípios classificados com baixa e média tCO₂eq. são iguais estatisticamente, sendo diferentes destes apenas os municípios classificados como de alta emissão, e que demonstram possuir maiores valores de área plantada com espécies de silvicultura (Fig. 8 J).

Tal observação permite salientar que, futuramente, uma vez contabilizada as remoções de CO₂ atmosférico por parte da ampliação de áreas e desenvolvimento de espécies de silvícolas, será possível observar uma relação inversamente proporcional entre emissão de GEE e Silvicultura, ou seja, quanto maior a variável Silvicultura (km²) menor será o tCO₂eq. emitido, devido ao balanço líquido envolvendo as emissões e remoções (AZEVEDO et al., 2018; DE FIGUEIREDO et al., 2017; SEEG, 2022).

Outro aspecto importante a destacar é que a relação positiva observada entre tCO₂eq. e Silvicultura é melhor explicada pela interação entre Pastagens Degradadas (%) e Silvicultura (km²) (Fig. 7). Estas variáveis demonstraram correlação positiva de força intermediária (0.44), exibindo que quanto maior a concentração de pastagens maior também é a presença de área plantada com Silvicultura (Fig. 7). Até o momento do desenvolvimento deste trabalho não foram encontrados resultados na literatura capazes de explicar tal relação positiva entre

Pastagem Degradada (%) e Silvicultura (km²). Portanto, vale ressaltar que se este trabalho contasse com dados de remoções relativos ao uso e ocupação do solo, as interações de tCO₂eq. entre Pastagem Não Degradada (%) e Silvicultura (km²) (Fig. 9), provavelmente expressariam correlação negativa, ou seja, quando maiores as áreas destas variáveis menores as emissões líquidas dos municípios.

A fim de demonstrar graficamente o comportamento das concentrações do CO₂ na coluna atmosférica, foi desenvolvido o mapa de Krigagem para todo o estado de Minas Gerais (Fig. 11). Os valores utilizados no desenvolvimento deste mapa não são de tCO₂eq., e sim de xCO₂ (ppm). Mais detalhes sobre esta variável encontram-se na seção 2.4, e aspectos da análise geoestatística de Krigagem na subseção 2.4.1. Juntamente a elaboração do mapa, é exibido na Tabela 3 e 5, com aspectos e características da estatística utilizada na produção dos mapas (Fig. 11).

Além de demonstrar visualmente as maiores concentrações de CO₂ na atmosfera de Minas Gerais, os Mapas (Fig. 11) e Tabela 5 anual indicaram que o ano de 2018 foi o maior em xCO₂ ppm para média (401.35 ppm), mediana (401.07 ppm) e mínimo (392.77 ppm), sendo 2019 o maior valor de máxima (430.16 ppm). Entretanto, os valores referentes do Coeficiente de Variação demonstram que os valores não são diferentes entre si quando se observa os limites superiores e inferiores de cada valor discutido.

Tabela 5. Coeficientes e Descritivos atributos e de análise de Krigagem xCO₂ (ppm), a partir de georeferências Média: Assimetria de Skewness, Coeficiente de Variável (CV), Erro de Raiz Média Quadrática (RMSE), Modelo Exponencial (Exp.), e Dependência Espacial de (Cambardella et al., 1994).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Anos	xCO ₂ (ppm)				
	2015	2016	2017	2018	2019
Média	400	400	401	401.5	401.2
Mediana	399.7	399.6	400.9	401.1	401.0
CV*	0.60	0.60	0.80	0.60	0.74
Mínimo	387.98	385.6	390.72	392.77	391.22
Máximo	412.82	417.78	419.04	420.0	430.16
Normalidade	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05

Assimetria	0.52	1.07	1.32	1.6	2.72
Curtose	3.11	8.61	5.92	7.78	19.41

* Coeficiente de Variação (CV).

Vale observar também que a distribuição dos dados não apresentou normalidade, sobretudo porque, como foi explicado na seção 2.4, foram conservados os valores de Outliers para o desenvolvimento das análises (Fig. 11 e Tab. 2). Os Outliers foram preservados graças a finalidade desejada para os mapas, que buscaram exibir áreas sob o estado de Minas Gerais que apresentam zonas de altos (Hot-Spots) e zonas de baixos (Cold-Spots) teores de CO₂ atmosféricos (Fig. 11). Portanto, além das análises de normalidade que confirmam a não distribuição normal dos dados, também foram realizadas as análises de Assimetria e Curtose, a fim de demonstrar numericamente o comportamento do padrão da distribuição dos dados (Tab. 2 e 3).

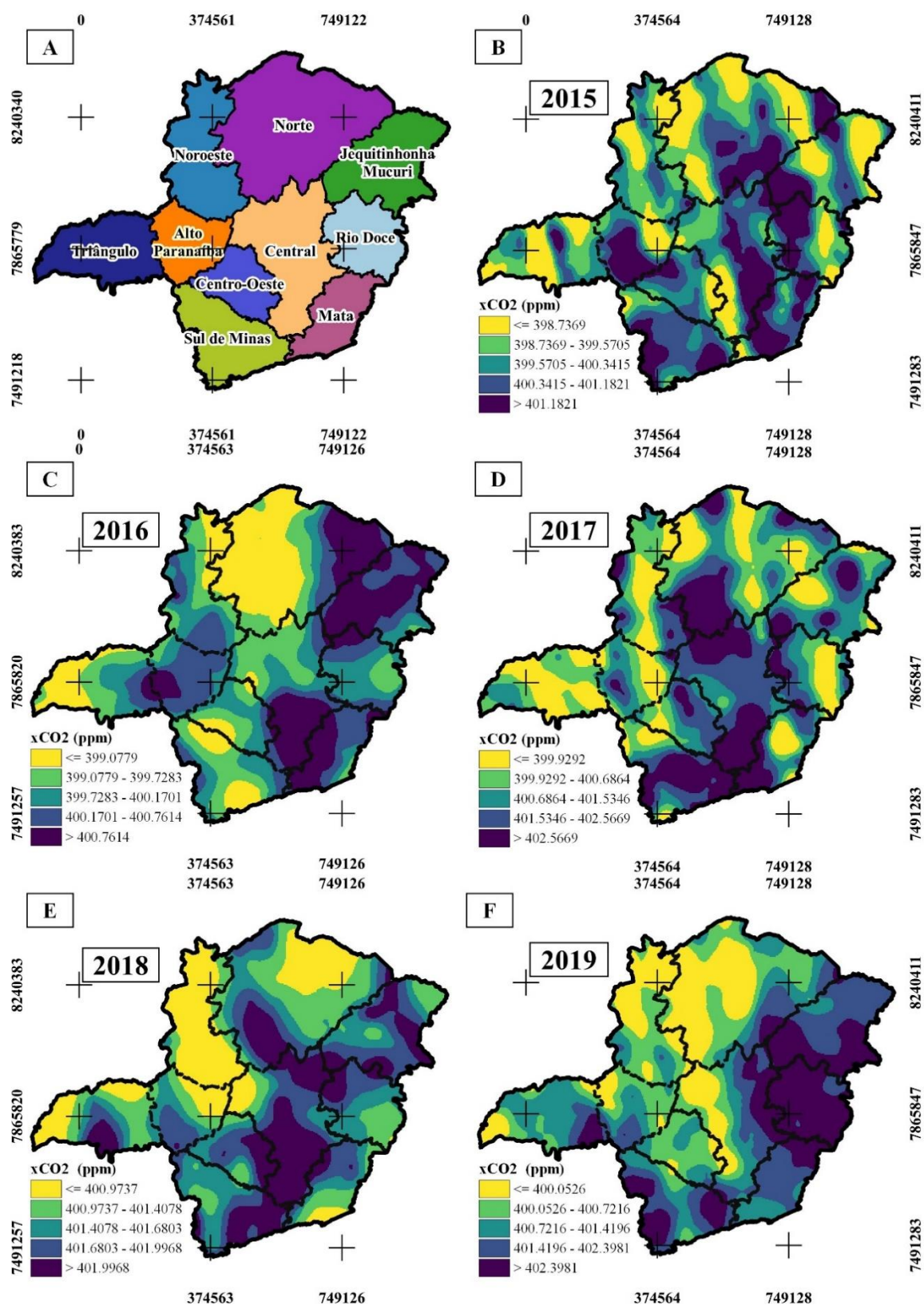


Figura 11: Mapas de xCO2 (ppm) atmosférico de Minas Gerais 2015 - 2019, a partir de análises geo-especializadas por Krigagem, para médias por pontos de georreferencia de coleta do satélite OCO-2 (NASA).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Complementando as observações possíveis na Figura 11 sobre HotSpots e ColdSpots, a Figura 12 demonstra gráficos de Boxplots para cada ano estudado

(2015 - 2019), a partir das regiões administrativas do estado de Minas Gerais. Os dados para construção dos Boxplots usaram os valores dos pixels estimados pela análise geoestatística de Krigagem, exibidas no formato de Mapa (Fig. 11) e como Boxplots (Fig. 12).

Portanto, regiões abaixo da média anual podem representar aspectos do uso e ocupação do solo responsáveis por retirar quantidades relevantes de CO₂ atmosférico (ColdSpots) (Fig. 11). Em contrapartida, o inverso pode ser considerado para as regiões administrativas acima da média anual, podendo indicar características do uso e ocupação do solo responsáveis por emitirem relevantes quantidades de CO₂ para atmosfera, demonstrando, assim, valores de HotSpot nos mapas (Fig. 11).

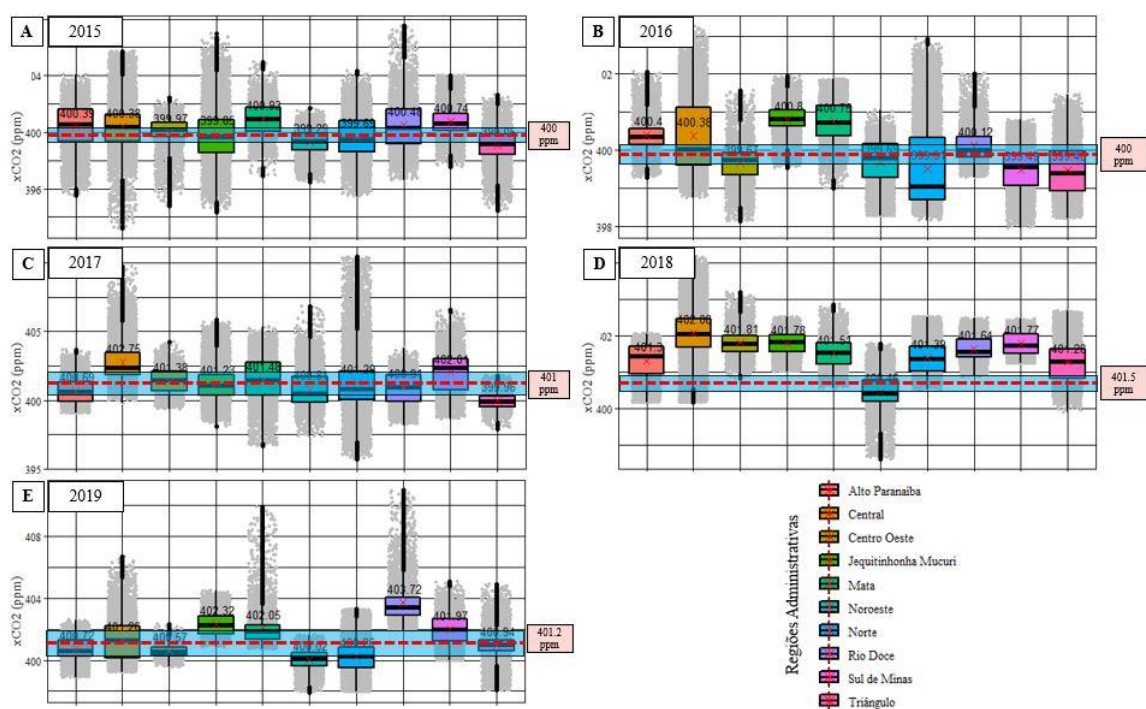


Figura 12: Gráficos de Boxplots para concentrações de CO₂ na coluna atmosférica (xCO₂ ppm), para anos e regiões administrativas de Minas Gerais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados foram corrigidos a partir da tendência global de incremento de CO₂, e os gráficos foram elaborados a partir dos valores de pixels especializados pela análise geo-estatística de Krigagem.

Em relação à média para o ano todo, representadas pela linha tracejada em vermelho, pode-se observar que em 2015 e 2017, as regiões administrativas apresentaram médias próximas a média geral do ano (Fig. 12 A e C). O único estaque entre estes anos foi para a região Central no ano de 2017 (Fig. 12 C),

apresentado média de 402.75 ppm, mediana de 402.4 ppm, mínimo 399.8 ppm e máximo 409.8 ppm. Importante observar também que para o ano de 2015 e 2017, a região do Triângulo Mineiro apresentou média inferior ao coeficiente de variação da média anual, sendo para 2015 média de 399.0 ppm, mediana de 399.2 ppm, mínimo 394.5, e máximo 402.6 ppm, e para 2017 média de 400.0 ppm, mediana de 399.9 ppm, mínimo 397.9 ppm, e máximo 401.8.

Os anos de 2016, 2018 e 2019 apresentaram regiões com distâncias mais proeminentes na média anual (Fig. 12 B, D e E). Em 2016 as regiões Norte, Sul de Minas e Triângulo Mineiro, com valores de média 399.5 ppm, 399.5 ppm, 399.5 ppm, mediana de 399.0 ppm, 399.6 ppm, 399.4 ppm, mínimo 398.2, 398.0 ppm, 398.2 ppm, e máximo 402.9, 400.8 ppm, 401.5 ppm, respectivamente, apresentaram valores inferiores à média anual (Fig. 12 B).

Por outro lado, a região Alto Paranaíba nos anos de 2016 e 2018, com valores de média de 400.4 ppm e 401.3 ppm, mediana de 400.4 ppm e 401.4 ppm, mínimo 399.3 ppm e 400.2 ppm, e máximo 402.1 ppm e 402.1 ppm, respectivamente, demonstrando valores superiores à média anual (Fig. 12 B e D). O mesmo comportamento foi observado para as regiões de Jequitinhonha Mucuri e Mata em 2016, com médias de 400.8 ppm e 400.7 ppm, mediana de 400.8 ppm e 400.7 ppm, mínimo de 399.5 ppm e 399.0 ppm, máxima de 401.9 ppm e 401.9 ppm, respectivamente (Fig. 12 B).

Para o ano de 2018, apenas a região administrativa do Nordeste apresentou média inferior à média anual (Fig. 12 D), com valores de média igual a 400.5 ppm, mediana de 400.4 ppm, mínimo 398.6 ppm, e máximo 401.8 ppm. Portanto, todas as outras regiões para este ano demonstraram média superiores à média anual (Linha tracejada em vermelho), mesmo respeitando o valor de CV para a média daquele ano (borda Azul) (Fig. 12 D e Tab. 3). Vale observar que este ano apresentou a maior média e mínima anual dentre todos os anos, 400.5 ppm e 392.77 ppm, e a segunda maior máxima, 420 ppm (Fig. 12 e Tab. 3).

De maneira geral, o ano de 2019 apresentou valores de média das regiões administrativas mais próximas da média anual (Fig. 12 E). Apenas a região do Noroeste, com média de 400.0 ppm, mediana de 400.1 ppm, mínimo 397.9 ppm, e máximo 401.6 ppm, apresentou estar abaixo da média anual. As regiões de Jequitinhonha Mucuri e Sul de Minas ainda em 2019, com média de 402.3 ppm e

402.0 ppm, mediana de 402.2 ppm e 402.0 ppm, mínimo 400.8 ppm e 400.0 ppm e máximo 404.5 ppm 405.0 ppm, apresentaram médias superiores à média anual (Fig. 12 E). Um importante destaque para este ano foi a região de Rio Doce, com média de 403.7 ppm, mediana de 403.4 ppm, mínimo 401.9 ppm e máximo 410.9 ppm, que demonstrou todos os parâmetros acima da média anual (Fig. 12 E, e Tab. 3).

É importante destacar que foram utilizados, para as afirmações exibidas acima, os valores de média e coeficiente de variação (CV) relativos à média anual da série temporal estudada, não sendo consideradas análises estatísticas para determinar as diferenças entre as regiões administrativas e a média anual (Fig. 12). Portanto, as observações realizadas para o comportamento xCO₂ (ppm) atmosférico, exibidos na Figura 12, se baseiam nas médias das regiões administrativas no estado de Minas Gerais, não permitindo afirmar diferenças estatísticas entre elas.

7. CONCLUSÕES

7.1 Impactos do Crédito sobre o uso e ocupação do solo.

Este estudo demonstrou que o fluxo de recursos do Programa ABC, adquirido nos municípios de Minas Gerais, está relacionado com as áreas ocupadas com Silvicultura (km²), Bovino (cabeça), e as concentrações de Pastagens Degradadas (%) e Não Degradadas (%). Por conseguinte, pode-se concluir que o fluxo de crédito foi dirigido aos municípios com aptidão agrícola para espécies florestais e produção de Bovinos. Vale a pena mencionar que a variável Pastagens Degradadas mostrou a maior significância estatística ($p < 0,001$) e R^2 para análise de regressão linear (Fig. 4), indicando que o Programa se concentra na conversão de pastagens degradadas também em Minas Gerais, como apontado por outros autores.

Os resultados demonstrados pelos Boxplots (Fig. 4) demonstram que, exceto para as variáveis Pastagens de Degradação Intermédia e Pastagens Não Degradadas, todos os municípios que acederam ao Programa têm valores mais elevados de áreas de Silvicultura, Bovinos (cabeças), e Pastagens Degradadas (%) quando comparados com os municípios que não acessaram os recursos do Programa.

Assim, pode concluir-se que o crédito está sendo dirigido aos municípios que já demonstram aptidão agrícola para estas variáveis. A abordagem temporal contínua demonstrou que os municípios que acederam ao Programa durante 6, 7, ou 8 anos, apresentam incrementos significativos para o rebanho bovino e pastagens intermédias degradadas e não degradadas. Assim, pode-se concluir que em Minas Gerais houve um crescimento significativo do número de cabeças Bovinos e de Pastagem Não Degradada devido aos valores contraídos pelo ABC ao longo da série histórica estudada. Por outro lado, a variável Pastagens de Degradação Intermédia mostrou uma diminuição no tempo em função dos valores adquiridos através do Programa ABC.

7.2. Impacto do Crédito sobre a emissão de CO₂ equivalente

Partindo do fato de não terem sido considerados os valores de remoções para a determinação do tCO₂eq., os resultados deste trabalho permitem concluir que os valores de crédito do Programa ABC não influenciaram as emissões de tCO₂eq. no estado de Minas Gerais. Obter valores de remoções de tCO₂eq. demonstrou ser aspecto fundamental para compreender o Programa ABC. Adicionalmente, a frequência de acesso ao Programa demonstrou também ser importante para determinar o impacto do crédito no uso e ocupação do solo e na emissão de GEEs. A variável Tempo de Acesso (Anos), demonstrou interação com todas as variáveis estudadas, com exceção do ABC Valores (Mil US\$).

Conclui-se também que, municípios com maiores quantidades de pastagem de bom vigor apresentaram menores montantes de emissão de GEEs. Assim, quanto maior a área com bom uso do solo, em relação ao total da área de pastagens no município, menor a emissão total de gases pelo município (tCO₂eq.). Adicionalmente, municípios com valores maiores de PIB Agricultura demonstraram acessar com mais frequência os valores do Programa ABC. Por outro lado, municípios com maiores valores de PIB Agricultura também demonstraram possuir maior pegada de carbono em tCO₂eq.

As regiões administrativas do Noroeste, Mata e Rio Doce demonstraram zonas de HotSpot de xCO₂ (ppm) atmosférico, em 3 anos dos 5 estudados. Em contrapartida, a região do Triângulo mineiro demonstrou ColdSpots em 3 anos dos 5 estudados, sendo apenas 1 ano como HotSpot (2018). A região do Norte

demonstrou zonas de ColdSpot em 2 anos dos 5 estudados, ficando dentro do coeficiente de variação para os outros anos.

AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho é grato ao Programa de Pós-Graduação (PPG) em Planejamento e Análise de Políticas Públicas FCHS/UNESP (Franca), bem como ao PPG em Agronomia (Produção Vegetal) FCAV/UNESP (Jaboticabal). Também vale destacar a gratidão direcionadas aos orientações e colaboração que também foram autores deste trabalho. Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001, à qual o autor agradece a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e Projeto Shell (Centro de Pesquisa e Inovação de Gases de Efeito Estufa - RCG2I - Processo: 20/15230-5).

8. REFERÊNCIAS

ABDALLA, K.; MUTEMA, M.; CHIVENGE, P.; EVERSON, C.; CHAPLOT, V. Grassland degradation significantly enhances soil CO₂ emission. **Catena**, [s. l.], v. 167, n. May 2017, p. 284–292, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.010>>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARTURSSON, T.; EKLÖV, T.; LUNDSTRÖM, I.; MÅRTENSSON, P.; SJÖSTRÖM, M.; HOLMBERG, M. Drift correction for gas sensors using multivariate methods. **Journal of Chemometrics**, [s. l.], v. 14, n. 5–6, p. 711–723, 2000.

ATLAS DAS PASTAGENS. **Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig)**. 2022. Disponível em: <<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

AZEVEDO, T. R.; COSTA, C.; BRANDÃO, A.; DOS SANTOS CREMER, M.; PIATTO, M.; TSAI, D. S.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES, M.; GALUCHI, T.; RODRIGUES, A.; MORGADO, R.; FERREIRA, A. L.; BARCELLOS E SILVA, F.; DE FREITAS VISCONDI, G.; DOS SANTOS, K. C.; DA CUNHA, K. B.; MANETTI, A.; COLUNA, I. M. E.; DE ALBUQUERQUE, I. R.; WATANABE, S.; LEITE, C.; KISHINAMI, R. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Scientific Data**, [s. l.], v. 5, p. 1–43, 2018.

BANCO CENTRAL. **Banco Central do Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BARROS, A. M. De. **Avaliação do uso estratégico das áreas prioritárias do Programa ABC**. O Programa ABC foi criado para acelerar, por meio de uma linha de financiamento atrelada ao Plano Safra, a implantação da agricultura de baixo carbono no Brasil. Passados sete anos, porém, constata-se um uso relativamente baixo dessa modalidade de crédito, apesar de o volume de área degradada ser relativamente grande, ou seja, existe demanda potencial para investimentos robustos para ampliação

de tecnologias de baixo carbono com que se atinjam as metas do Plano ABC. **Observatório ABC**, 2017. p. 18. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Sumario_ABC_Áreas-Prioritárias.pdf>

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, [s. l.], v. 5, p. 1–12, 2018.

BELIK, W.; PAULILLO, L. F.; VIAN, C. E. de F. A emergência dos conselhos setoriais na agroindústria brasileira: gênese de uma governança mais ampla? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 9–32, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/resr/a/fDknCK74v8zRy6kPx9SJKfn/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

BULTE, E. H.; BOUMAN, B. A. M.; PLANT, R. A. J.; NIEUWENHUYSE, A.; JANSEN, H. G. P. The economics of soil nutrient stocks and cattle ranching in the tropics: Optimal pasture degradation in humid Costa Rica. **European Review of Agricultural Economics**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 207–226, 2000.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 58, n. 5, p. 1501–1511, 1994.

CAMPOS, M. O. De; CERRI, C. E. P.; SCALA JR, N. La. Remote Sensing Applications : Society and Environment Atmospheric CO₂ , soil carbon stock and control variables in managed and degraded pastures in central Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 28, n. August, p. 100848, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100848>>

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. De; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 974–980, 2008.

CARAUTA, M.; TROOST, C.; GUZMAN-BUSTAMANTE, I.; HAMPF, A.; LIBERA, A.; MEURER, K.; BÖNECKE, E.; FRANKO, U.; RIBEIRO RODRIGUES, R. de A.; BERGER, T. Climate-related land use policies in Brazil: How much has been achieved with economic incentives in agriculture? **Land Use Policy**, [s. l.], v. 109, n. July 2020, 2021.

CARRER, M. J.; MAIA, A. G.; DE MELLO BRANDÃO VINHOLIS, M.; DE SOUZA FILHO, H. M. Assessing the effectiveness of rural credit policy on the adoption of integrated crop-livestock systems in Brazil. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 92, n. December 2019, p. 104468, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104468>>

CENSO AGROPECUARIO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - **Censo Agropecuario de 2017**. 2017. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CONCEIÇÃO, M. C. G. Da; S. MATOS, E.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. de A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest System in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 08, n. 09, p. 904–913, 2017.

CRISP, D.; FISHER, B. M.; O'DELL, C.; FRANKENBERG, C.; BASILIO, R.; BÖSCH, H.; BROWN, L. R.; CASTANO, R.; CONNOR, B.; DEUTSCHER, N. M.; ELDERING, A.; GRIFFITH, D.; GUNSON, M.; KUZE, A.; MANDRAKE, L.; MCDUFFIE, J.; MESSERSCHMIDT, J.; MILLER, C. E.; MORINO, I.; NATRAJ, V.; NOTHOLT, J.;

O'BRIEN, D. M.; OYAFUSO, F.; POLONSKY, I.; ROBINSON, J.; SALAWITCH, R.; SHERLOCK, V.; SMYTH, M.; SUTO, H.; TAYLOR, T. E.; THOMPSON, D. R.; WENNERBERG, P. O.; WUNCH, D.; YUNG, Y. L. The ACOS CO₂ retrieval algorithm – Part II: Global X_{CO₂} data characterization. **Atmos. Meas. Tech.**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 687–707, 2012. a.

CRISP, D.; FISHER, B. M.; O'DELL, C.; FRANKENBERG, C.; BASILIO, R.; BÖSCH, H.; BROWN, L. R.; CASTANO, R.; CONNOR, B.; DEUTSCHER, N. M.; ELDERING, A.; GRIFFITH, D.; GUNSON, M.; KUZE, A.; MANDRAKE, L.; MCDUFFIE, J.; MESSERSCHMIDT, J.; MILLER, C. E.; MORINO, I.; NATRAJ, V.; NOTHOLT, J.; O'BRIEN, D. M.; OYAFUSO, F.; POLONSKY, I.; ROBINSON, J.; SALAWITCH, R.; SHERLOCK, V.; SMYTH, M.; SUTO, H.; TAYLOR, T. E.; THOMPSON, D. R.; WENNERBERG, P. O.; WUNCH, D.; YUNG, Y. L. The ACOS CO₂ retrieval algorithm – Part II: Global X_{CO₂} data characterization. **Atmospheric Measurement Techniques**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 687–707, 2012. b. Disponível em: <<https://amt.copernicus.org/articles/5/687/2012/>>. Acesso em: 5 jul. 2022.

DA COSTA, L. M.; DE ARAÚJO SANTOS, G. A.; DE MENDONÇA, G. C.; MORAIS FILHO, L. F. F.; DE MENESES, K. C.; DE SOUZA ROLIM, G.; LA SCALA, N. Spatiotemporal variability of atmospheric CO₂ concentration and controlling factors over sugarcane cultivation areas in southern Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], n. 0123456789, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01677-6>>

DANGAL, S. R. S.; TIAN, H.; ZHANG, B.; PAN, S.; LU, C.; YANG, J. Methane emission from global livestock sector during 1890-2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns. **Global change biology**, England, v. 23, n. 10, p. 4147–4161, 2017.

DE FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; DE OLIVEIRA BORDONAL, R.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, n. 2017, p. 420–431, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>>

DE OLIVEIRA BORDONAL, R.; BARRETTO DE FIGUEIREDO, E.; AGUIAR, D. A.; ADAMI, M.; THEODOR RUDORFF, B. F.; LA SCALA, N. Greenhouse gas mitigation potential from green harvested sugarcane scenarios in São Paulo State, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 59, p. 195–207, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.08.040>>

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: o que é e como evitar. **Embrapa Gado de ...**, [s. l.], p. 19, 2017. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>>

DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A. Linking Biogeochemical Cycles to Cattle Pasture Management and Sustainability in The Amazon Basin. **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**, [s. l.], 2001.

ERI, M.; SILVA JUNIOR, C. A. Da; LIMA, M.; LA SCALA JÚNIOR, N.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. De; TEODORO, P. E.; CAPRISTO-SILVA, G. F.; CAIONE, G.; PERES, C. A. Capitalizing on opportunities provided by pasture sudden death to enhance livestock sustainable management in Brazilian Amazonia. **Environmental Development**, [s. l.], v. 33, n. August 2019, p. 100499, 2020. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100499>>

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; BORDONAL, R. de O.; TEIXEIRA, D. D. B.; BERCHIELLI, T. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂-C Emissions and Correlations with Soil Properties in Degraded and Managed Pastures in Southern Brazil. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 1263–1273, 2017.

GHELLER, D. G.; GAZOLLA, M.; MARINI, M. J. Gases De Efeito Estufa Na Agricultura : Uma. [s. l.], p. 93–111, 2019.

GIANETTI, G. W.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. O Plano e Programa ABC: uma análise da alocação dos recursos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 1–15, 2021.

GIL, J. D. B.; GARRETT, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 59, p. 557–568, 2016.

GOMES, L. C.; FARIA, R. M.; DE SOUZA, E.; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FILHO, E. I. F. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, [s. l.], v. 340, n. January, p. 337–350, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007>>

GOMES, V. E. de V.; ARAÚJO, R. C. P. De. Análise dos fatores determinantes do valor dos contratos do Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Brasil no ano safra 2014/15. **Revista de Ciências Agroambientais**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 39–53, 2018. a.

GOMES, V. E. de V.; ARAÚJO, R. C. P. De. Revista de Ciências Agroambientais. **Economia e administração do agronegócio**, [s. l.], 2018. b.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. Dos; LANDAU, E. C. Índices Pluviométricos em Minas Gerais. **Embrapa**, [s. l.], p. 88, 2010.

HENGL, T.; HEUVELINK, G. B. M.; STEIN, A. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. **Geoderma**, [s. l.], v. 120, n. 1–2, p. 75–93, 2004.

IBGE. **Conheça cidades e Estados do Brasil**. 2020.

IBGE. **Sistema Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de Recuperação Automática - SIDRA**. 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca/brasil>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

IBGE | PAM. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

IPCC. Climate Change and Land Ice; IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems; Summary for Policymakers. **Ipcc**, [s. l.], p. 1–15, 2017.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen., 2021.

IPCC. **IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2022. Disponível

em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 2 ago. 2022.

IVASKO JÚNIOR, S.; MASTELLA, A. D. F.; TRES, A.; TETTO, A. F.; WENDLING, W. T.; SOARES, R. V. Classificação Do Estado De Mato Grosso Do Sul Segundo Sistema De Zonas De Vida De Holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 26, n. 2013, p. 629–645, 2020.

KENEA, S.-T.; LEE, H.-Y.; JOO, S.-W.; LI, S.-L.; LABZOVSKII, L. D.; CHUNG, C.-Y.; KIM, Y.-H. Interannual Variability of Atmospheric CH₄ and Its Driver Over South Korea Captured by Integrated Data in 2019. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 12, 2021.

LEAL, B. P. **PROGRAMA ABC : UMA ANÁLISE PARA O PERÍODO DE 2011 A 2014**. 2016. FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO, [s. l.], 2016.

LOPES, D.; LOWERY, S.; PEROBA, T. L. C. Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. **Revista do BNDES**, [s. l.], n. 45, p. 155–196, 2016. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9518>>

MAPBIOMAS. **MapBiomas Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

MCNAMARA, A. Key Attributes of a Modern Statistical Computing Tool. **American Statistician**, [s. l.], v. 73, n. 4, p. 375–384, 2019.

MENDONÇA, A. K. de S.; DA SILVA, S. A.; PEREIRA, L. Z.; BORNIA, A. C.; DE ANDRADE, D. F. An overview of environmental policies for mitigation and adaptation to climate change and application of multilevel regression analysis to investigate the CO₂ emissions over the years of 1970 to 2018 in all Brazilian states. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 21, p. 1–18, 2020.

MORAIS FILHO, L. F. F.; MENESES, K. C. De; SANTOS, G. A. de A.; BICALHO, E. da S.; ROLIM, G. de S.; LA SCALA, N. xCO₂ temporal variability above Brazilian agroecosystems: A remote sensing approach. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 288, n. February, 2021.

MOUSAVI, S. M.; FALAHATKAR, S.; FARAJZADEH, M. Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in Iran using GOSAT data. **Natural Resources Forum**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 83–91, 2017.

NEWTON, P.; GOMEZ, A. E. A.; JUNG, S.; KELLY, T.; MENDES, T. de A.; RASMUSSEN, L. V.; REIS, J. C. Dos; RODRIGUES, R. de A. R.; TIPPER, R.; VAN DER HORST, D.; WATKINS, C. Overcoming barriers to low carbon agriculture and forest restoration in Brazil: The Rural Sustentável project. **World Development Perspectives**, [s. l.], v. 4, p. 5–7, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wdp.2016.11.011>>

NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F. R.; LEONIDAS, F. C.; SOARES, J. V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 109, n. 3, p. 314–327, 2007.

O'DELL, C. W.; CONNOR, B.; BÖSCH, H.; O'BRIEN, D.; FRANKENBERG, C.; CASTANO, R.; CHRISTI, M.; ELDERING, D.; FISHER, B.; GUNSON, M.; MCDUFFIE, J.; MILLER, C. E.; NATRAJ, V.; OYAFUSO, F.; POLONSKY, I.; SMYTH, M.; TAYLOR, T.; TOON, G. C.; WENNERBERG, P. O.; WUNCH, D. The ACOS CO₂ retrieval algorithm-Part 1: Description and validation against synthetic observations. **Atmospheric Measurement Techniques**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 99–121, 2012. a.

O'DELL, C. W.; CONNOR, B.; BÖSCH, H.; O'BRIEN, D.; FRANKENBERG, C.; CASTANO, R.; CHRISTI, M.; ELDERING, D.; FISHER, B.; GUNSON, M.; MCDUFFIE, J.; MILLER, C. E.; NATRAJ, V.; OYAFUSO, F.; POLONSKY, I.; SMYTH, M.; TAYLOR, T.; TOON, G. C.; WENNERBERG, P. O.; WUNCH, D. The ACOS CO₂ retrieval algorithm – Part 1: Description and validation against synthetic observations. **Atmospheric Measurement Techniques**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 99–121, 2012. b.

OHTANI, K. Bootstrapping R² and adjusted R² in regression analysis. **Economic Modelling**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 473–483, 2000.

OSTLE, N. J.; LEVY, P. E.; EVANS, C. D.; SMITH, P. UK land use and soil carbon sequestration. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 26, n. SUPPL. 1, p. 274–283, 2009.

PACHECO, A.; DE QUEIROZ CHAVES, R.; MAIA, C.; NICOLI, L. Integration of crops, livestock, and forestry: A system of production for the Brazilian Cerrados. **Eco-efficiency: from vision to reality**, [s. l.], p. 51–60, 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/959993/1/52.pdf>>

PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 232, n. July, p. 111301, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>>

PARRA, A. S.; DE FIGUEIREDO, E. B.; DE BORDONAL, R. O.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas emissions in conversion from extensive pasture to other agricultural systems in the Andean region of Colombia. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 249–262, 2019. a.

PARRA, A. S.; DE FIGUEIREDO, E. B.; DE BORDONAL, R. O.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas emissions in conversion from extensive pasture to other agricultural systems in the Andean region of Colombia. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 249–262, 2019. b.

PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M. De. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E APLICAÇÃO DIFERENCIADA DE CORRETIVO. [s. l.], n. 2001, p. 1–5, 2004.

POULADI, N.; MØLLER, A. B.; TABATABAI, S.; GREVE, M. H. Mapping soil organic matter contents at field level with Cubist, Random Forest and kriging. **Geoderma**, [s. l.], v. 342, p. 85–92, 2019.

QGIS 3.26.1. **QGIS Software**. 2022. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em: 6 ago. 2022.

RANGEL PINAGÉ, E.; M. BELL, D.; LONGO, M.; GAO, S.; KELLER, M.; SILVA, C. A.; OMETTO, J. P.; KÖHLER, P.; FRANKENBERG, C.; HUETE, A. Forest structure and solar-induced fluorescence across intact and degraded forests in the Amazon. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 274, n. March, 2022.

RODRIGUES, R.; GURGEL, A. C.; COSTA, C. F.; MONZON, M.; VENDRAMINI, A.; YAMAHAKI, C.; ROCHA, F. **Análise dos Recursos do Programa ABC - Safra 2015/16** 2016. p. 24. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/wp-content/uploads/2016/10/Relatorio-Completo_Análise-dos-Recursos-ABC-safra1516.pdf>

SANTOS, R. F. Dos. O crédito rural na modernização da agricultura brasileira. **R. Econ. Sociol. rural, Brasília**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 393–404, 1988.

SEEG. **Emissões Totais |SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases**. 2022. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acesso em: 2 ago. 2022.

SILVA, F. M. Da; SOUZA, Z. M. De; FIGUEIREDO, C. A. P. De; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 401–407, 2007.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 17, 2020.

TAVANTI, R. F. R.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N.; CHIQUITELLI NETO, M.; FREDDI, O. da S.; PAZ GONZÁLEZ, A.; DE CARVALHO, M. A. C.; SOARES, M. B.; TAVANTI, T. R.; GALINDO, F. S. What is the impact of pasture reform on organic carbon compartments and CO₂ emissions in the Brazilian Cerrado? **Catena**, [s. l.], v. 194, n. March, p. 104702, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104702>>

VALLE JÚNIOR, R. F. Do; SIQUEIRA, H. E.; VALERA, C. A.; OLIVEIRA, C. F.; SANCHES FERNANDES, L. F.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 14, n. November 2018, p. 20–33, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.001>>

VIEIRA, S.; HATFIELD, J.; NIELSEN, D.; HILGARDIA, J. B.-; 1983, Undefined. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **hilgardia.ucanr.edu**, [s. l.], 1983. Disponível em: <<https://hilgardia.ucanr.edu/Abstract/?a=hilg.v51n03p075>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

VINHOLIS, M. de M. B.; MACCHIONE SAES, M. S.; CARRER, M. J.; MEIRELLES DE SOUZA FILHO, H. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 280, 2021.

WANG, C.; CAJA, J.; GÓMEZ, E. Comparison of methods for outlier identification in surface characterization. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, [s. l.], v. 117, n. December 2017, p. 312–325, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.015>>

ZHANG, Y.; JOINER, J.; HAMED ALEMOHAMMAD, S.; ZHOU, S.; GENTINE, P. A global spatially contiguous solar-induced fluorescence (CSIF) dataset using neural networks. **Biogeosciences**, [s. l.], v. 15, n. 19, p. 5779–5800, 2018.