

Avaliação Geoespacial do Programa de PSA Bolsa Verde em Minas Gerais

Marcelo Yuto Nogueira Sedyama – Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGADM-UFV)
Bolsista FAPEMIG

Resumo: Este estudo analisa o desempenho do Programa Bolsa Verde (PBV), iniciativa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) em Minas Gerais, na redução do desmatamento nos municípios contemplados pelo programa. O objetivo central foi comparar as taxas de supressão da vegetação nativa entre municípios beneficiados e não beneficiados, bem como identificar padrões de autocorrelação espacial associados ao desmatamento. Para tanto, realizou-se uma análise comparativa utilizando o teste não paramétrico *Wilcoxon Rank-Sum*, complementada por técnicas de análise espacial com os indicadores Moran's I e Local *Indicators of Spatial Association* (LISA) no *software* GeoDa. Os resultados evidenciam ausência de diferença significativa entre os municípios com e sem o PBV. Apenas no bioma Mata Atlântica, os municípios contemplados pelo programa apresentaram menor supressão inicial, entretanto o efeito não foi confirmado para o segundo período investigado. A análise espacial revelou autocorrelação positiva crescente, indicando concentração regional do desmatamento, especialmente nas áreas do Norte de Minas, Jequitinhonha/Rio Doce e Zona da Mata, em contraste com baixa demanda no centro do estado. Conclui-se que o PBV não gerou impactos significativos na redução do desmatamento, ressaltando-se a necessidade de incorporar variáveis socioeconômicas e institucionais e ampliar estudos qualitativos que permitam aprimorar o desenho e implementação do programa.

Palavras-Chave: Pagamentos por Serviços Ambientais, Políticas Públicas, Análise Geoespacial, Bolsa Verde, Desmatamento.

1. Introdução

O fenômeno das mudanças climáticas constitui um dos desafios mais urgentes e complexos enfrentados pela sociedade, exigindo ações coordenadas entre diferentes setores, escalas territoriais e esferas de governo para assegurar respostas efetivas e sustentáveis. O conjunto de intervenções e políticas implementadas com o objetivo de mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pode ser denominado ação climática (IPCC, 2014; UNFCCC, 2015). Dentre as ações climáticas emergentes os programas de Pagamentos por Serviços Ambientais - PSA se destacam como instrumento de política ambiental por sua capacidade de promover a gestão sustentável de recursos naturais (Cerveira et al., 2024).

Os PSA são instrumentos econômicos de gestão ambiental capazes de gerar valor econômico por meio da proteção e conservação de ecossistemas e representam acordos voluntários onde usuários dos serviços ecossistêmicos compensam financeiramente aqueles que os fornecem, sob a condição de aderirem a práticas específicas para a gestão de recursos naturais. Estas práticas são estabelecidas para assegurar a produção contínua de benefícios ambientais (Wunder, 2015). Contudo, apesar do crescente reconhecimento da importância dos serviços ecossistêmicos, existe uma lacuna na compreensão da efetiva contribuição dos PSA para o desenvolvimento sustentável (Le et al., 2024; Snilsveit et al., 2019; Wunder et al., 2020).

As avaliações dos programas de pagamento por serviços ambientais no Brasil revelam uma fragilidade significativa, já que, quando realizadas, frequentemente se restringem ao monitoramento de indicadores (Guerra et al., 2024). Mota et al. (2023) constataram que a maioria dos programas de PSA no Brasil não atende ao critério de condicionalidade, que determina que os pagamentos sejam diretamente vinculados à efetiva prestação dos serviços ambientais. Esse fato compromete a avaliação precisa do impacto desses programas na provisão de serviços ambientais, prejudicando a mensuração de seus resultados reais (Mota et al., 2023). Diante dos crescentes riscos socioambientais decorrentes de programas públicos ineficazes e ineficientes, agravados pelas ameaças de eventos climáticos extremos e pela contínua perda de biodiversidade, torna-se necessário investigar os efeitos dos programas de PSA na efetiva preservação da cobertura vegetal nativa. Este estudo propõe-se a verificar se os incentivos financeiros oferecidos pelos PSA geram uma externalidade positiva observável na diminuição do desmatamento, supressão da vegetação nativa, em nível municipal, para além das propriedades diretamente beneficiadas. A investigação, comparará municípios com e sem a implementação de programas de PSA a fim de verificar se há evidências empíricas sobre a existência de possíveis efeitos do PSA na decisão de não desmatar em municípios vizinhos.

Compreender essa dinâmica auxiliará a refinar o desenho de futuros programas de PSA, otimizar a alocação de recursos públicos e privados, e fortalecer a governança ambiental. Os resultados poderão, portanto, subsidiar políticas públicas mais eficazes para a conservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas, validando ou questionando o pressuposto de que o incentivo financeiro por si só é suficiente para mudar padrões de uso da terra em larga escala. Como objeto de análise utilizaremos o Programa de PSA denominado Bolsa Verde de Minas Gerais, que está em execução a mais de 15 anos no Estado. Assim, formulamos as seguintes questões de pesquisa: **A implementação do Programa Bolsa Verde (PBV) está associada a redução estatisticamente significativa nas taxas médias de desmatamento dos municípios beneficiários, quando comparados a municípios não participantes ao longo do tempo? Há evidências de autocorrelação espacial significativa**

entre os níveis de supressão da vegetação e a presença do PBV, indicando padrões espaciais distintos entre municípios que implementaram ou não o programa?

2. Fundamentação teórica

Pagamentos Por Serviços Ambientais

Aspecto essencial nos programas PSA é a qualidade de seu desenho e implementação, que desempenham papel determinante na eficácia desses instrumentos econômicos de preservação e conservação ambiental. Conforme Engel (2016), desenhos inadequados, que desconsideram aspectos técnicos fundamentais, estão frequentemente associados ao baixo desempenho dos programas. Entre os elementos críticos de desenho dos programas de PES estão a definição de pagamentos que excedam os custos de oportunidade dos usos alternativos da terra, o estabelecimento de contratos suficientemente flexíveis para lidar com mudanças de contexto e a incorporação de salvaguardas para lidar com riscos relacionados à permanência e à continuidade dos serviços (Engel, Pagiola e Wunder 2008). Essas falhas podem comprometer tanto a adesão dos provedores quanto a sustentabilidade dos programas, reforçando a necessidade de incorporar boas práticas de desenho para maximizar o impacto ambiental e social dos PSA.

Outro fator que compromete a consolidação dos programas de PSA como mecanismos de incentivo à conservação ambiental no Brasil são as fontes de recursos perenes e sustentáveis (MMA, 2024). A ausência de financiamento contínuo representa uma das maiores barreiras para assegurar a abrangência e a escala necessárias aos programas, comprometendo sua eficácia a longo prazo. De acordo com o MMA, sem a viabilização de fluxos financeiros consistentes, os programas de PSA enfrentam dificuldades significativas para manter seu impacto, reforçando a importância de estratégias robustas, como a criação de fundos globais e instrumentos financeiros inovadores (MMA, 2024).

Nesse contexto de desafios relacionados tanto ao desenho quanto à sustentabilidade financeira dos PSA, experiências concretas em nível subnacional, como o Programa Bolsa Verde de Minas Gerais (PBV), oferecem exemplos relevantes de como esses instrumentos vêm sendo aplicados no Brasil. O PBV de Minas Gerais, política pública de incentivo à preservação ambiental, instituído pela Lei 17.727 de 2008 e regulamentado pelo Decreto 45.113 de 2009, visa recompensar financeiramente proprietários e posseiros rurais que se dedicam à conservação da vegetação nativa. O programa tem como objetivo central proteger ecossistemas vitais, como matas ciliares e nascentes, que desempenham papel crucial na sustentabilidade dos recursos hídricos e na promoção da biodiversidade (Minas Gerais, 2008, 2009).

Originalmente, o PBV foi concebido com duas modalidades: a manutenção de áreas de vegetação nativa e a recuperação de áreas degradadas. Contudo, apenas a modalidade de manutenção da vegetação nativa foi efetivamente implementada (Stein, Silva e Botelho, 2022). A seleção dos beneficiários baseava-se em critérios como a localização das propriedades em bacias hidrográficas estratégicas e a adoção de práticas de conservação de vegetação nativa, especialmente nas formações ciliares e áreas de recarga de aquíferos. No entanto, conforme apontado em Stein, Silva e Botelho (2022), o caráter universal dos editais resultou em uma seleção que nem sempre priorizou as áreas estratégicas, levando a uma distribuição pulverizada das propriedades beneficiadas e dificultando a mensuração dos ganhos ambientais efetivos.

O programa foi planejado para ter uma duração de cinco anos consecutivos, com pagamentos anuais condicionados à comprovação da preservação da área por parte do beneficiário. Para assegurar a conformidade com as metas de conservação acordadas, foi estabelecido um sistema de monitoramento e acompanhamento. No entanto, desafios operacionais, especialmente atrasos nos pagamentos e a demora entre a publicação dos editais e a formalização dos contratos, resultaram na prorrogação do período de compromissos para além dos cinco anos originalmente previstos (Stein, Silva e Botelho, 2022). Essa abordagem, embora inicialmente voltada para promover a governança colaborativa e a corresponsabilidade entre o poder público e os atores privados, acabou por exigir maior resiliência dos beneficiários diante das incertezas administrativas e financeiras.

A gestão do PBV é centralizada no Comitê Executivo, responsável pela aprovação de editais de convocação, análise de pareceres técnicos sobre as demandas e definição de critérios e prioridades para a análise das solicitações. O Instituto Estadual de Florestas (IEF), coordena o Comitê Executivo e desempenha o papel de Secretaria Executiva do programa, coordenando sua execução operacional, seja diretamente ou em parceria com outras entidades. Suas atribuições são definidas pelo Comitê Executivo do Bolsa Verde (IEF, 2014). Embora a legislação previsse diversas fontes de financiamento, os pagamentos por serviços ambientais foram realizados exclusivamente com recursos do Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais (Fhidro). O valor do incentivo estabelecido era de R\$ 200,00 por hectare anualmente, máximo de cinco pagamentos (Stein, Silva e Botelho, 2022). Foram lançados ao todo dois editais para cadastramento de beneficiários do PBV, um em 2010 e outro em 2011. A previsão para pagamento da última parcela dos programas era para ser realizada em 2018. Contudo, devido a atrasos e contingenciamentos de recursos ainda existem beneficiários que não receberam o pagamento das parcelas faltantes (Stein et al., 2022).

Por meio da diferença entre os dados dos editais de 2010 e 2011 é possível verificar o esforço administrativo para disseminar as adesões em todo o estado. O número de municípios participantes passou de 118 para 188, totalizando 234 municípios e beneficiando 2.698 participantes. A área total das propriedades inscritas atingiu 193.795,83 hectares, com uma média de 33,96 hectares preservados por beneficiário, correspondendo a uma porcentagem média de 47,27% da área total destinada à preservação. Em termos financeiros, o montante anual destinado ao pagamento pela área preservada totalizou R\$ 18.323.353,73 nesse período.

3. Método de pesquisa

Empregamos a abordagem quantitativa para investigar os efeitos o PSA Bolsa Verde na dinâmica do desmatamento municipal em Minas Gerais. Nosso objetivo é testar a hipótese de que o Programa resultou em uma redução substancial da perda de cobertura vegetal nativa nos municípios. Para tanto, a unidade de análise primária será o **município**, permitindo uma comparação entre aqueles que apresentam beneficiários dos programas e os que não tiveram beneficiários.

A metodologia é composta por duas etapas: primeiramente, realizamos uma **análise comparativa das médias de desmatamento** entre os grupos de municípios, buscando identificar diferenças estatisticamente significativas nas taxas de supressão de vegetação nativa. Em segundo lugar, utilizamos o *software* GeoDa para aplicar o **Moran's I Univariado Local**,

a fim de explorar a **autocorrelação espacial** entre a adoção do programa de PSA e a variação na redução da supressão de vegetação, permitindo a identificação de *clusters* espaciais e a compreensão de possíveis efeitos de externalidade. Os dados foram obtidos conforme tabela 2.

Tabela 2. Dados da cobertura vegetal, supressão e áreas beneficiadas pelo programa bolsa verde por município

Dados por Município	Fonte	Tempo
Vegetação Primária; Vegetação Secundária; Supressão Vegetação Primária; Supressão Vegetação Secundária	MAPBIOMAS (2025)	De 2001 a 2023
Código IBGE, Área dos municípios e dados geoespaciais	IBGE (2025)	*
Área contemplada com o PBV	IEF (2025)	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas no estudo, abrangendo 853 observações que representam todos os municípios do estado de Minas Gerais. Os dados revelam que 27,4% dos municípios mineiros apresentam beneficiários do PBV, indicando uma cobertura parcial do estado por essa política de PSA. Em relação aos biomas predominantes, 67,1% dos municípios possuem predominância de Mata Atlântica, seguidos por 30,0% com Cerrado e 2,9% com Caatinga, refletindo a diversidade ecossistêmica de Minas Gerais. A presença de unidades do IEF¹ é verificada em 15,8% dos municípios, o que pode indicar diferentes níveis de capacidade institucional local para a gestão ambiental e implementação da política florestal e de biodiversidade.

A média da porcentagem de vegetação nativa contemplada com o PBV nos municípios é de 0,35%, com um desvio padrão elevado de 1,19% e um valor máximo de 11,02%, sugerindo uma grande heterogeneidade na adesão e abrangência do programa entre os municípios participantes. Quanto às taxas de supressão de vegetação, observou-se uma média pré-implementação do programa (2002-2009) de 1,33% (TX.SUP.M.PRE), que diminuiu para 1,08% no período pós-implementação inicial (2012-2018) e para 1,06% no período mais recente (2019-2023). As variáveis de diferença na supressão (D.TX.SUP1 e D.TX.SUP2) apresentam médias negativas de -0,25% e -0,27% respectivamente, indicando que, em média, houve uma redução numérica nas taxas de supressão após a implementação do programa em comparação com o período pré-programa, embora a magnitude e a significância dessa redução demandem análises estatísticas inferenciais apresentadas na seção de resultados.

Tabela 3. Estatística Descritiva das variáveis

Variável	Obs	Média	Desvio Padrão	Mín	Máx
PBV	853	0,274	0,446	0	1
Bioma Caatinga	853	0,029	0,169	0	1
Bioma Cerrado	853	0,300	0,459	0	1
Bioma Mata Atlântica	853	0,671	0,470	0	1
IEF	853	0,158	0,365	0	1
Média em porcentagem da Vegetação nativa do município contemplada com o PBV	853	0,35	1,19	0	11,02

¹ O regulamento do Instituto Estadual de Florestas (IEF), órgão executivo responsável pela política florestal de Minas Gerais, é estabelecido pelo Decreto nº 47.892, de 23 de março de 2020. Este decreto detalha as diretrizes operacionais e normativas que balizam as ações do Instituto.

Variável	Obs	Média	Desvio Padrão	Mín	Máx
Taxa, em porcentagem, de supressão antes de implementar o programa média dos anos de 2002-2009 (TX.SUP.M.PRE). Foi calculada a supressão do ano x+1 dividido pela área de vegetação nativa do ano X e realizada a média para os anos de 2002 a 2009.	853	1,33	0,69	0,11	4,53
Taxa de supressão, em porcentagem, após a implementação do programa média dos anos de 2012-2018 (TX.SUP.M.POS1). Foi calculada a supressão do ano x+1 dividido pela área de vegetação nativa do ano X e realizada a média para os anos de 2012 a 2018.	853	1,08	0,62	0,09	4,37
Taxa de supressão, em porcentagem, após a implementação do programa média dos anos de 2019-2023 (TX.SUP.M.POS2). Foi calculada a supressão do ano x+1 dividido pela área de vegetação nativa do ano X e realizada a média para os anos de 2019 a 2023.	853	1,06	0,79	0,08	6,41
Supressão da vegetação TX.SUP.M.POS1 menos a TX.SUP.M.PRE em porcentagem (D.TX.SUP1)	853	-0,25	0,58	-3,26	1,93
Supressão da vegetação TX.SUP.M.POS2 menos a TX.SUP.M.PRE em porcentagem (D.TX.SUP2)	853	-0,27	0,77	-2,77	4,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Resultados e Discussão

A análise comparativa entre os municípios com e sem a presença do PBV foi precedida pelo teste de normalidade *Shapiro-Wilk*, sendo verificado que as variáveis não seguem uma distribuição normal (p-valor igual a 0,001). Diante dessa constatação empírica e da natureza não-paramétrica dos dados, utilizamos o teste de *Wilcoxon Rank-Sum* (também conhecido como *Teste U de Mann-Whitney*). Este teste é uma alternativa não paramétrica ao teste *t de Student*, utilizada para comparar as medianas de duas amostras independentes sem exigir pressupostos de normalidade distributiva das variáveis. A aplicação do *Wilcoxon Rank-Sum* permitiu a avaliação das diferenças nas taxas de supressão de vegetação entre os grupos de municípios, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Comparação entre municípios com e sem a presença do PBV

Variável	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05	Mediana (IEF=0)	Mediana (IEF=1)	Valor de p < 0,05
Taxa de supressão média antes da implementação do PBV (2001-2009)	1,2306	1,2469	0,7361	1,2251	1,3440	0,8101
Taxa de supressão média após a implementação do PBV (2012-2018)	0,9630	0,9187	0,4329	0,9416	0,9916	0,2674
Taxa de supressão média após a implementação do PBV (2019-2023)	0,8315	0,9606	0,0609	0,8436	0,9032	0,4744
Diferença entre a taxa de supressão média após a implementação do PBV (2012-2018) menos a taxa antes (2001-2009) em porcentagem	-0,1988	-0,2436	0,2356	-0,2178	-0,1588	0,2993
Diferença entre a taxa de supressão média após a implementação do PBV (2019-2023) menos a taxa antes (2001-2009) em porcentagem	-0,3123	-0,3203	0,9481	-0,3105	-0,32384	0,5482

Nota: P-valor obtido no Wilcoxon Rank-Sum Test (Mann-Whitney U Test); ** Significante ao nível de 5%. *** Significante ao nível de 1%.

Por meio da Tabela 4 é possível analisar comparativamente as medianas das taxas de supressão de vegetação nativa, antes e após a implementação do PBV. Utilizamos como unidade de comparação a mesma relação quanto a presença de unidades do IEF nos municípios mineiros. Conforme os resultados do *Teste de Wilcoxon Rank-Sum*, não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$) nas medianas das taxas de supressão média entre os municípios com e sem PBV em nenhum dos períodos analisados (2001-2009, 2012-2018 e 2019-2023), nem nas variáveis de diferença de supressão (D.TX.SUP1 e D.TX.SUP2). Por exemplo, antes da implementação do PBV (2001-2009), a mediana da taxa de supressão para municípios sem o programa era de 1,23%, enquanto para aqueles com o programa era de 1,24%, com um p-valor de 0,7361. Similarmente, as comparações entre municípios com e sem a presença do IEF também não revelaram diferenças estatisticamente significativas nas medianas de nenhuma das variáveis de supressão. Esses achados indicam que, em média, os municípios que implementaram o PBV e os que não o fizeram, bem como aqueles com e sem unidades do IEF, possuíam padrões estatisticamente similares de supressão de vegetação nativa antes e após a implementação do programa, sugerindo que a presença desses fatores, por si só, não está associada a diferenças medianas significativas nas taxas de desmatamento.

Na Tabela 5, comparamos a relação do PBV por bioma a fim de apresentar análise relacionada às diferenças ecológicas, socioeconômicas e históricas entre as regiões do estado. Os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica possuem características ecológicas distintas como composição da flora e fauna, tipos de solo, capacidade de regeneração e resiliência ambiental que podem influenciar diretamente tanto o modo como a terra é utilizada quanto na intensidade das pressões antrópicas sobre a vegetação nativa. Essas diferenças ecológicas também se associam a práticas econômicas predominantes específicas em cada bioma, como pecuária extensiva, agricultura mecanizada ou extrativismo vegetal. Diante desse contexto, a análise da relação entre a presença ou ausência do PBV e a taxa de supressão da vegetação foi realizada separadamente em cada bioma, com o objetivo de captar como os efeitos do programa podem variar conforme os contextos ecológicos e socioeconômicos regionais.

Tabela 5. Comparação por bioma entre municípios com e sem a presença do PBV

Variável	CAATINGA			CERRADO			MATA ATLÂNTICA		
	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05
Taxa de supressão média antes da implementação do PBV (2001-2009)	1.156	1.071	0.877	1.441	1.649	0.155	1.146	1.024	0.007**
Taxa de supressão média após a implementação do PBV (2012-2018)	1.302	1.031	0.106	1.013	0.999	0.733	0.943	0.823	0.037*
Taxa de supressão média após a implementação do PBV (2019-2023)	1.202	0.876	0.273	0.853	0.978	0.081	0.800	0.872	0.656
Diferença percentual entre a taxa média de supressão após (2012-2018) e antes (2002-2009) da	-0.001	-0.304	0.474	-0.355	-0.471	0.129	-0.163	-0.109	0.412

Variável	CAATINGA			CERRADO			MATA ATLÂNTICA		
	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05	Mediana (PBV=0)	Mediana (PBV=1)	Valor de p < 0,05
implementação do PBV.									
Diferença percentual entre a taxa média de supressão após (2019-2023) e antes (2002-2009) da implementação do PBV.	-0.078	-0.289	0.246	-0.521	-0.558	0.608	-0.238	-0.094	0.017*

Nota: P-valor obtido no Wilcoxon Rank-Sum Test (Mann-Whitney U Test); * Significante ao nível de 5%. ** Significante ao nível de 1%. Obs: Na Caatinga, 19 dos 25 municípios apresentam o PBV; no Cerrado, 100 de 256; e na Mata Atlântica, 115 de 572.

A análise da Tabela 5 revela diferenças estatisticamente significativas apenas no bioma Mata Atlântica. Antes da implementação do PBV (2001-2009), os municípios contemplados pelo programa apresentavam mediana de taxa de supressão da vegetação significativamente menor (1,024) em relação aos sem o programa (1,146; $p = 0,007$). Esse padrão se manteve após a implementação do PBV no período de 2012 a 2018, com municípios beneficiados apresentando mediana inferior (0,823) àquela observada nos não beneficiados (0,943; $p = 0,037$). Esses resultados sugerem uma possível associação entre a presença do PBV e taxas mais baixas de supressão da vegetação no bioma durante os primeiros anos de execução do programa. No entanto, essa tendência não se mantém no segundo ciclo de análise (2019-2023), quando a diferença entre os grupos deixa de ser estatisticamente significativa ($p = 0,656$), indicando ausência de evidências robustas de continuidade do efeito. Além disso, observa-se que a diferença percentual entre a taxa média de supressão no segundo ciclo e o período anterior ao PBV foi mais negativa nos municípios sem o programa (-0,238) do que naqueles com o PBV (-0,094; $p = 0,017$), sugerindo que a redução da supressão foi mais acentuada nas localidades não contempladas. Esse resultado pode indicar uma possível perda de efetividade do programa ao longo do tempo e/ou a atuação de outros fatores estruturais e contextuais que influenciam a dinâmica do desmatamento e que não foram controlados nesta análise.

A análise visual, proporcionada pela Figura 2, do padrão espacial da variação da taxa de supressão de vegetação nativa em Minas Gerais, do período pós-implementação inicial do PBV (2012-2018), revela uma distribuição heterogênea das dinâmicas de desmatamento. Observa-se a formação de agrupamentos (*clusters*) de maior redução da supressão (representados por tons de verde) principalmente nas regiões central, leste e sul do estado, ao passo que áreas com menor redução ou, em alguns casos, aumento da supressão (indicados por tons de vermelho) se manifestam pontualmente em diversas regiões, incluindo a porção noroeste. A sobreposição cartográfica das áreas contempladas pelo PBV (pontos amarelos) com esse padrão de variação não sugere, em uma inspeção inicial, uma concentração evidente dos incentivos do programa nas áreas de maior redução do desmatamento. Pelo contrário, a distribuição dos pontos do PBV parece dispersa, ocorrendo em municípios com distintas variações da supressão. A fim de verificar a existência da correlação espacial entre a presença do programa e a efetiva diminuição da supressão da vegetação nativa em nível municipal realizamos a análise do **Moran's I Univariado Local** no *software* GeoDa.

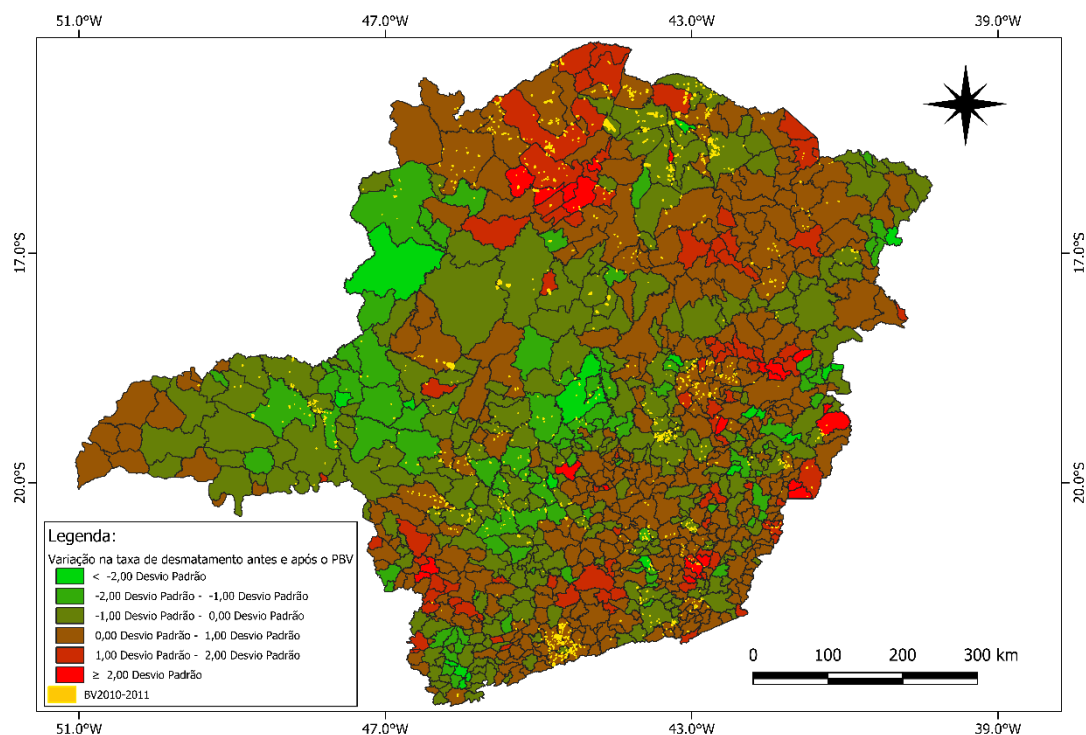


Figura 2. Variação da Taxa de Supressão de Vegetação Nativa antes (2001-2009) e após (2012-2018) a Implementação do Programa Bolsa Verde (PBV) nos Municípios de Minas Gerais

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software QGIS 3.34.

A Figura 3 a seguir apresenta o padrão espacial da variação da taxa de supressão de vegetação nativa em Minas Gerais, no segundo período pós-implementação do PBV (2019-2023). Analisando de modo comparado as Figuras 2 e 3 verifica-se que enquanto o período inicial (2012-2018) apresenta distribuição dispersa de áreas com reduções ou aumentos na supressão, a dinâmica do desmatamento entre 2019 e 2023 é marcada por uma intensificação e concentração das áreas de aumento da supressão (em vermelho) na porção leste e nordeste do estado, com uma aparente fragmentação ou menor prevalência das áreas de maior redução (verde claro) em comparação com o período anterior. Essa mudança no padrão sugere a progressão da pressão sobre a vegetação nativa em certas regiões ao longo do tempo. Visualmente, a distribuição dos pontos de implementação do PBV (amarelo) nos dois mapas não sugere correlação espacial imediata ou predominante com as regiões que apresentaram as maiores reduções de supressão, o que indica a complexidade das interações entre os incentivos do programa e as pressões territoriais sobre a conservação.

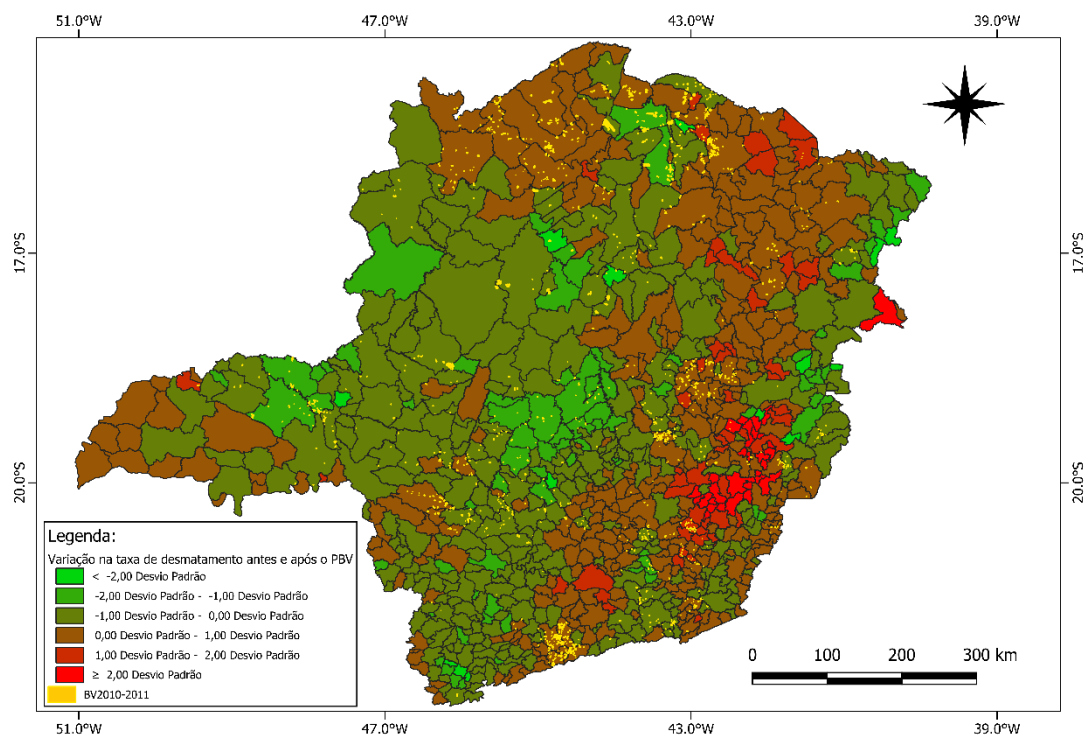


Figura 3. Variação da Taxa de Supressão de Vegetação Nativa antes (2001-2009) e após (2019-2023) a Implementação do Programa Bolsa Verde (PBV) nos Municípios de Minas Gerais

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software QGIS 3.34.

A Figura 4 ilustra os diagramas de dispersão de Moran para as variáveis de diferença na taxa de supressão, D.TX.SUP1 e D.TX.SUP2, respectivamente. Esses gráficos possibilitam verificar a autocorrelação espacial, representando no eixo horizontal os valores da variável de interesse (Z_i) e no eixo vertical os valores médios ponderados dessa variável em suas vizinhanças (W_{Z_i}). A inclinação da linha de regressão, que passa pelo centroide (médias) das variáveis, indica a direção e a força da autocorrelação espacial. A análise foi conduzida utilizando o critério de vizinhança que considera a contiguidade do tipo rainha, aplicado aos 853 municípios mineiros, com uma média de 5,68 vizinhos por unidade espacial.

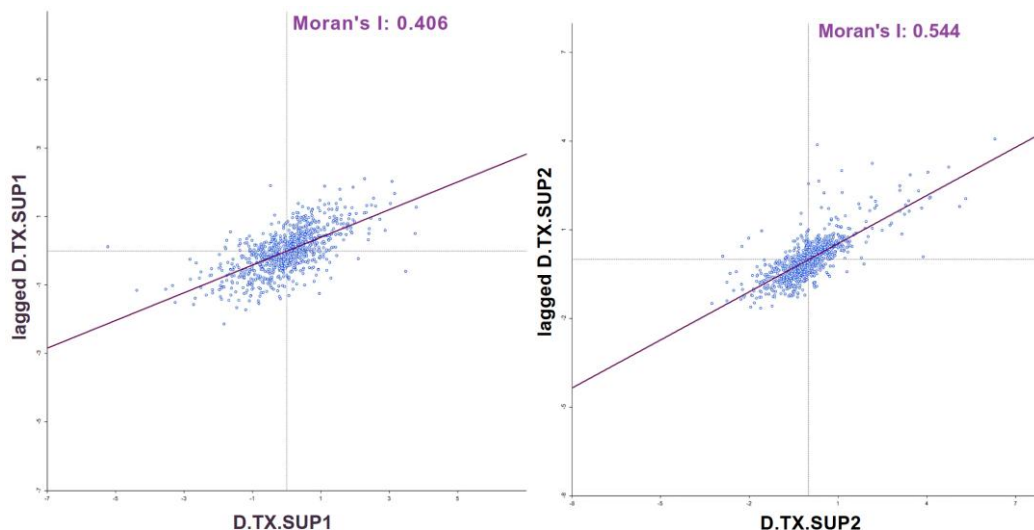


Figura 4. Análise Espacial da Supressão Pré e Pós-Implementação do PBV, Moran's I.
Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

A esquerda, D.TX.SUP1, compara a supressão pós-programa (2012-2018) com o período pré-programa (2002-2009), apresenta Moran's I de 0,406. Este valor positivo indica a presença de uma autocorrelação espacial positiva moderada. Isso sugere que áreas com maior supressão pós-programa (em relação ao período prévio) tendem a estar próximas a outras áreas também com alta supressão, e vice-versa. Já a direita, o D.TX.SUP2, que avalia a supressão do período mais recente pós-programa (2019-2023) em relação ao período pré-programa (2002-2009), apresenta Moran's I de 0,544. O aumento do valor do Moran's I sinaliza um fortalecimento da autocorrelação espacial positiva ao longo do tempo. Isso indica que os efeitos dos fatores que influenciam a supressão da vegetação nativa se tornaram espacialmente mais concentrados e intensos na segunda fase posterior de implementação.

A Figura 5 apresenta a comparação dos mapas de clusters *Local Indicators of Spatial Association* - LISA e de significância estatística para D.TX.SUP1 (período 2012-2018 vs. 2002-2009) e D.TX.SUP2 (período 2019-2023 vs. 2002-2009) revelando a dinâmica espacial complexa e evolutiva na supressão da vegetação nativa no Estado. Para D.TX.SUP1, observa-se o equilíbrio numérico entre os clusters “Alto-Alto” (97 municípios) e “Baixo-Baixo” (97 municípios). A distribuição desses clusters é visível em diferentes partes do território, com áreas de alta supressão concentradas no centro-norte e leste, e áreas de baixa supressão predominantemente no oeste e sudoeste. Essa configuração espacial inicial sugere que os fatores socioambientais e institucionais que condicionam a supressão, estavam geograficamente dispersos pelo território. Em contraste, a análise de D.TX.SUP2 evidencia a alteração substancial na estrutura espacial da supressão e distribuição dos *clusters*. Nota-se a prevalência dos tipos de clusters “Baixo-Baixo” (137 municípios), que se estendem por grande parte das regiões central, oeste e sudoeste de Minas Gerais, superando significativamente o número de clusters “Alto-Alto” (75 municípios), concentrados majoritariamente na porção nordeste e sudeste.

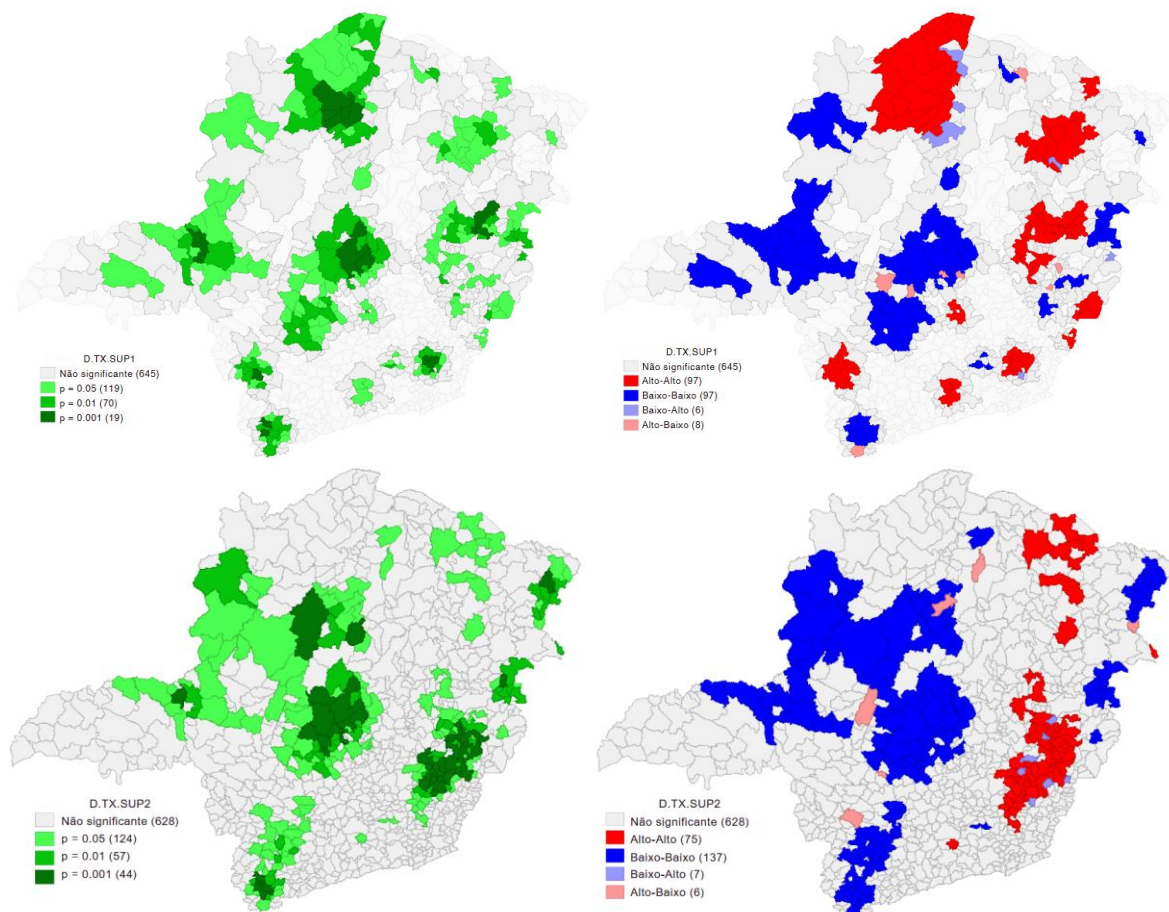


Figura 5. Mapas de Clusters LISA e de Significância Estatística para a Diferença na Taxa de Supressão D.TX.SUP1 (período 2012-2018 vs. 2002-2009) e D.TX.SUP2 (período 2019-2023 vs. 2002-2009) em MG.

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

Para a elaboração das Figuras 6 a 9, realizamos a análise de autocorrelação espacial local condicional (LISA condicional) utilizando o *software* GeoDa, versão 1.22.0.14. Os mapas foram estruturados em painéis compostos por duas dimensões: nas linhas, representamos a presença (valor 1) ou ausência (valor 0) do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais (PBV) ou do Instituto Estadual de Florestas (IEF); nas colunas, classificamos os municípios com base na variação na supressão da vegetação (D.TX.SUP1 e D.TX.SUP2), dividida em dois grupos conforme a mediana de cada variável, onde mapas à esquerda indicam valores abaixo da mediana, e à direita, acima. Para a construção dos mapas de clusters, foi utilizada uma matriz de contiguidade espacial do tipo queen de primeira ordem, com 999 permutações e nível de significância de 5%, conforme os procedimentos descritos por Anselin (1995). Os resultados foram categorizados em cinco tipos de associação espacial local: Alto-Alto (valores altos cercados por valores altos), Baixo-Baixo (valores baixos cercados por valores baixos), Alto-Baixo, Baixo-Alto (respectivamente, valores altos cercados por valores baixos e valores baixos cercados por altos) e áreas não significativas. Essa abordagem permite comparar padrões de autocorrelação espacial da supressão da vegetação entre municípios com ou sem a presença

institucional do PBV ou do IEF, identificando áreas críticas Alto-Alto e regiões de estabilidade ecológica Baixo-Baixo.

A Figura 6 revela padrões espaciais sobre a efetividade do PBV: observa-se que 32 das 97 áreas Alto-Alto de alta variação na supressão vegetal concentram-se em municípios participantes do PBV (PBV=1), especialmente no Norte de Minas, Vale do Jequitinhonha, Vale do Rio Doce e Zona da Mata, indicando que a presença do programa não resultou em externalidade positiva significativa para a redução da supressão da vegetação nessas áreas; concomitantemente, 65 Alto-Alto são identificados em municípios sem o PBV (PBV=0), destacando regiões críticas para futuras ações estratégicas de combate ao desmatamento. Por outro lado, municípios sem o PBV também apresentam predominância de agrupamentos Baixo-Baixo, sugerindo menor demanda por pagamentos por serviços ambientais em áreas com taxas reduzidas de supressão da vegetação.

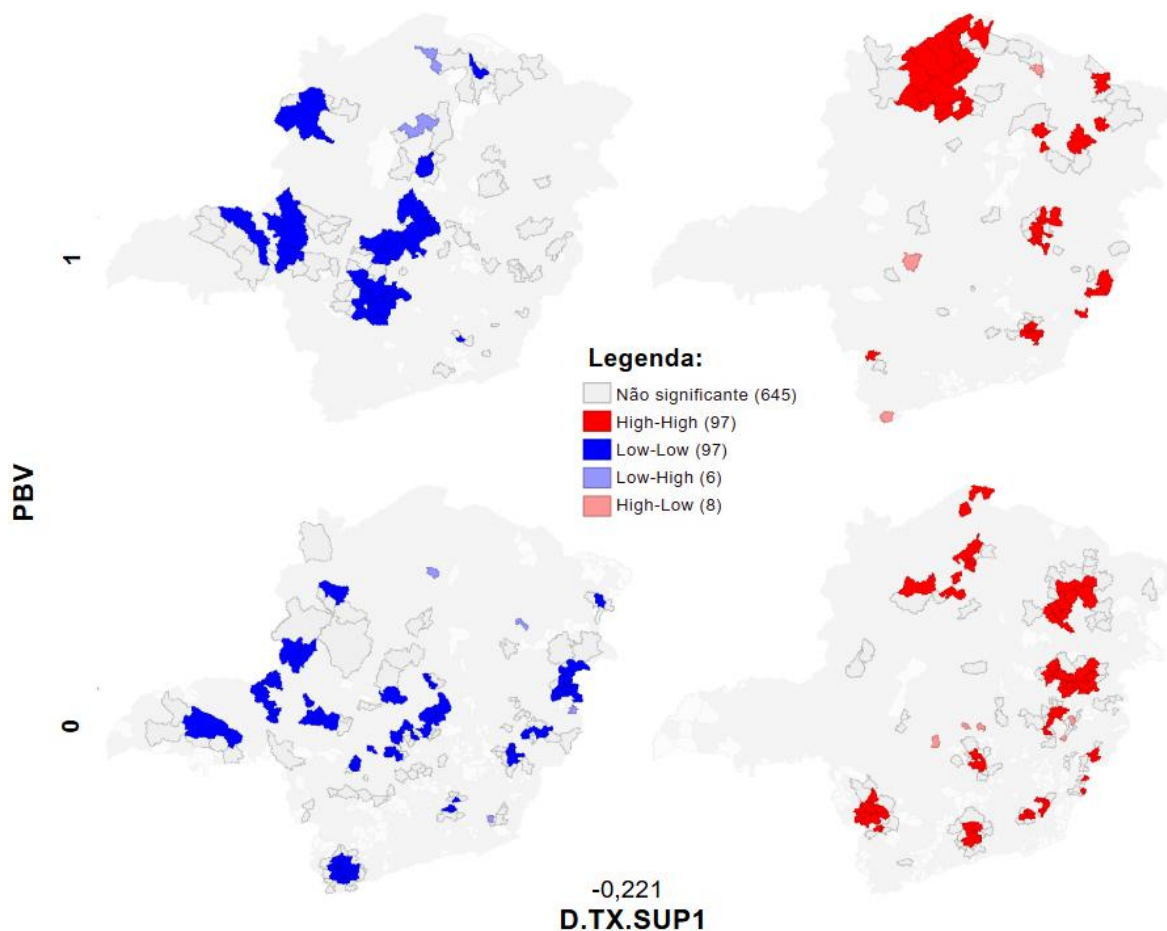


Figura 6. Interação espacial condicional entre a variação na supressão da vegetação (D.TX.SUP1) e a localização do PBV em Minas Gerais.

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

Por meio da Figura 7 é possível verificar padrões distintos de supressão vegetal dependendo da presença do IEF. Utilizamos a análise do órgão ambiental como forma de verificar se há diferenças entre este e o PBV. Nos municípios com a atuação do órgão ambiental (IEF=1)

verifica-se 18 dos 97 *clusters* Alto-Alto (áreas com alta taxa de supressão cercadas por áreas similares) indicando núcleos de alta supressão mesmo em territórios monitorados pelo Instituto, possivelmente reflexo de pressões locais (uso do solo agrícola intensivo ou extração irregular) que superam a capacidade de controle, indicando a necessidade de estratégias mais robustas e adaptadas às realidades socioeconômicas e ambientais dessas regiões. Em contraste, nos municípios sem a atuação do IEF nota-se maior dispersão e número de áreas Alto-Alto, 77 dos 97, ou sejam 79,4%, mostrando que a ausência do Instituto coincide com aglomerações de alta supressão ao longo do Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Rio Doce, Zona da Mata e Sudeste de Minas, corroborando a inferência de que a ausência institucional efetiva do órgão pode estar correlacionada com áreas de maior vulnerabilidade à supressão vegetal. Este padrão espacial pode sugerir a lacuna na capacidade de monitoramento e fiscalização ambiental em grande parte do território mineiro, ressaltando a urgência da expansão e fortalecimento da atuação do órgão ambiental nessas áreas, ou o desenvolvimento de mecanismos alternativos e complementares de controle e gestão ambiental, para mitigar os impactos da supressão da vegetação.

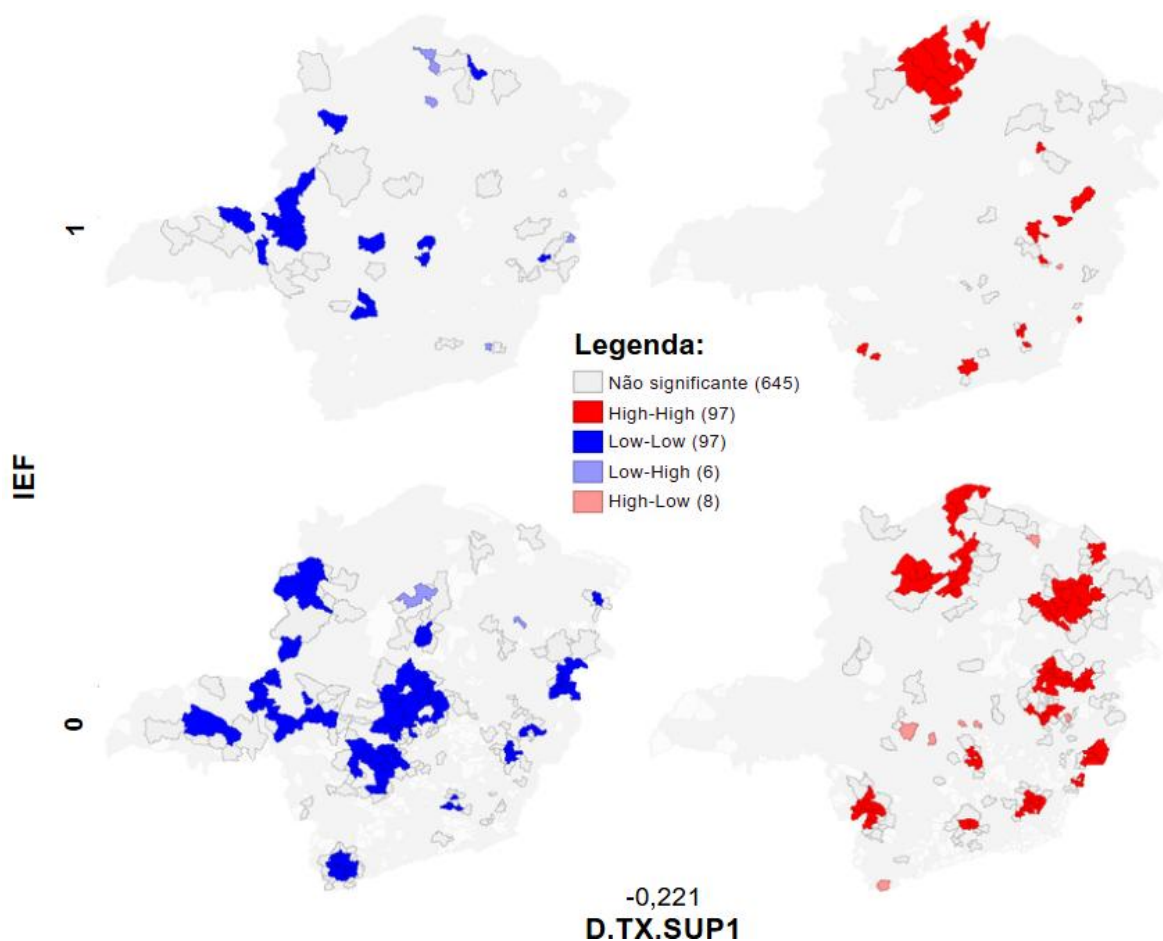


Figura 7. Interação espacial condicional entre a variação na supressão da vegetação (D.TX.SUP1) e a localização de unidades do IEF em Minas Gerais

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

A Figura 8 apresenta a interação espacial condicional para o segundo período de análise do PBV, utilizando a variável D.TX.SUP2, que representa a diferença percentual entre a taxa média de supressão vegetal após (2019-2023) e antes (2002-2009) da implementação do PBV. A análise geral da mediana da variação na supressão, que passou de -0,221 (D.TX.SUP1) para -0,312 (D.TX.SUP2), sugere a tendência de redução do desmatamento no estado de Minas Gerais entre os períodos analisados. Os municípios participantes do PBV (PBV=1) concentram 18 dos 75, ou seja 24% de localidades Alto-Alto. Esses clusters persistem em regiões historicamente vulneráveis, como o Norte de Minas, Jequitinhonha/Rio Doce e Zona da Mata. Em contrapartida, a análise do mapa inferior direito (PBV=0) revela que 57 dos 75 Alto-Alto estão localizados em municípios sem a presença do PBV. Essa concentração de áreas com alta variação na supressão fora do escopo do programa reitera a necessidade de identificar e priorizar esses locais para a implementação de novas ações estratégicas de combate ao desmatamento e à supressão da vegetação nativa. Por fim, nos municípios sem PBV (PBV=0) predominam agrupamentos de áreas com baixa taxa de supressão cercadas por áreas similares Baixo-Baixo, sugerindo taxas reduzidas de supressão e estabilidade da cobertura vegetal indicando a menor demanda por pagamentos por serviços ambientais.

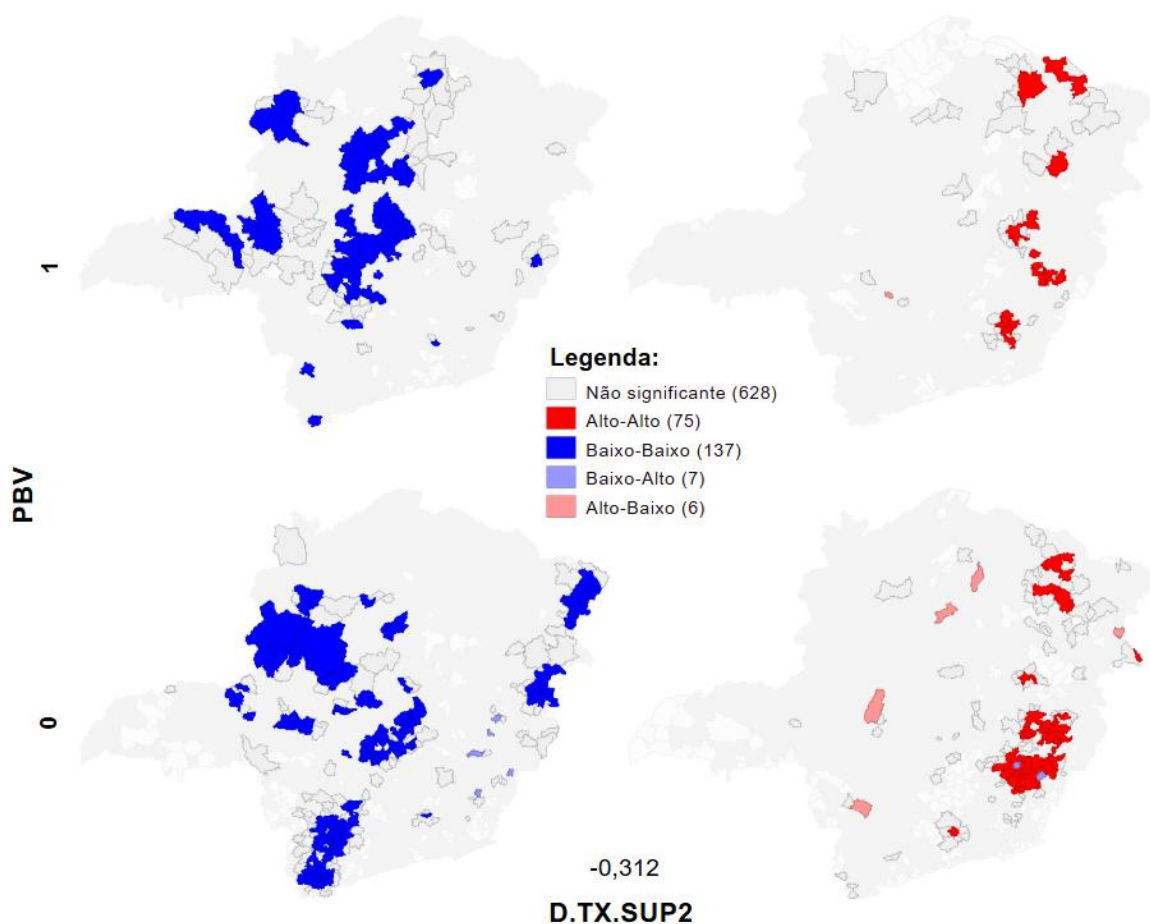


Figura 8. Interação espacial condicional entre a variação na supressão da vegetação (D.TX.SUP2) e a localização do PBV em Minas Gerais.

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

Ao compararmos a interação espacial condicional da variação da supressão da vegetação nativa com a presença do IEF, constatamos que apenas 8 dos 75 locais Alto-Alto, ou seja, 10,7% encontram-se em municípios nos quais há a atuação do órgão, sugerindo possivelmente a atuação eficaz do Instituto na preservação e fomento florestal nas áreas. Em locais, onde não há a presença do órgão ambiental verificamos 67 das 75 áreas Alto-Alto de desmatamento, ou seja, 89,3% do total, sugerindo a necessidade de implementação de unidades do órgão e ou outras ações efetivas para o combate do desmatamento, principalmente nas regiões do Vale do Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata. A vulnerabilidade ambiental dessas áreas e a provável lacuna na capacidade de monitoramento e fiscalização ambiental acentua a urgência da implementação ou expansão de unidades do órgão, ou do desenvolvimento de outras ações e políticas públicas ambientalmente eficazes nessas regiões, visando fortalecer o combate ao desmatamento e promover a conservação dos ecossistemas.

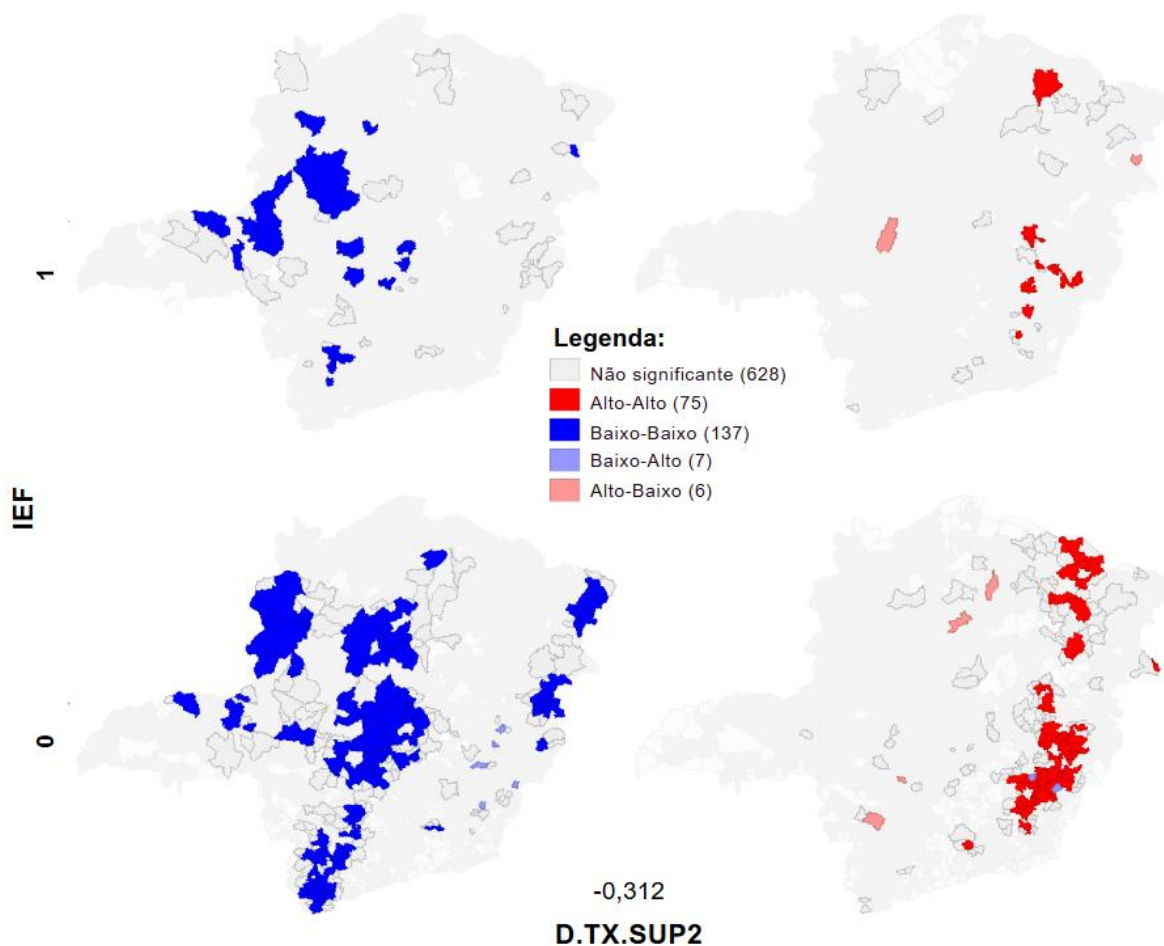


Figura 9. Interação espacial condicional entre a variação na supressão da vegetação (D.TX.SUP2) e a localização de unidades do IEF em Minas Gerais.

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaborado com base em informações do MapBiomas e dados do Programa Bolsa Verde de Minas Gerais. Mapeamento realizado no software GeoDa 1.22.0.14.

5. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo investigar se os municípios de Minas Gerais que implementaram PSA Bolsa Verde apresentam dinâmica de desmatamento significativamente menores em comparação àqueles que não adotaram e qual a relação do PSA Bolsa Verde com a dinâmica espacial da supressão da vegetação nativa. Por meio da análise comparativa das médias de desmatamento entre os grupos de municípios que adotaram e não o programa não se verificou variação significativa. Apenas no Bioma Mata Atlântica observou-se a diferença significativa, contudo ao se comparar o antes e depois do programa não se observou relação significativa. Esses resultados sugerem a efetividade limitada ou localizada do programa, especialmente no bioma Mata Atlântica, sem evidência significativa sobre a redução da supressão de vegetação nos demais biomas analisados.

A análise espacial da supressão da vegetação nos períodos pré e pós-implementação do PBV, por meio do índice global de Moran, indicou autocorrelação espacial positiva, com maior concentração de padrões de similaridade no segundo período pós-programa (2019–2023). Os mapas de *clusters* gerados pelo LISA para a variável de diferença nas taxas de supressão revelaram alterações significativas na distribuição espacial do desmatamento em Minas Gerais, sugerindo a existência de territórios mais e menos favoráveis à adoção de Programas de PSA. Destacam-se como áreas potencialmente mais propensas à implementação de PSA os territórios do Norte de Minas, Jequitinhonha/Rio Doce e Zona da Mata, enquanto regiões como o Alto Paranaíba, Centro-Oeste, Central e Noroeste de Minas apresentaram baixos níveis de supressão, indicando menor prioridade para estratégias de PSA baseadas em critérios de risco de desmatamento.

Por fim, observa-se que as áreas sob a atuação do IEF apresentam menor concentração de Alto-Alto de supressão da vegetação em comparação com aquelas associadas à presença do PBV. Esse padrão espacial sugere uma maior efetividade das ações diretas do órgão florestal estadual na mitigação do desmatamento, em relação à atuação indireta promovida via PBV. No entanto, essas evidências devem ser interpretadas com cautela, considerando-se fatores estruturais e contextuais que podem influenciar os resultados observados e que não foram considerados no presente estudo.

Referências

ANSELIN, Luc. Local Indicators of Spatial Association—LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.

ALIX-GARCIA, J. M.; SIMS, R.; SOARES-FILHO, B. S. Payments for ecosystem services and the dynamics of deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Economics**, Madison, v. 88, n. 4, p. 601-619, 2012.

CERVEIRA, R.; PRADO, N. B. do; TONINI, G.; CUNHA, C. F. da. O Impacto de Pagamentos de Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Um Estudo Geoespacial. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 1–21, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2024240020>.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 65, n. 4, p. 663-674, 2008.

GUERRA, B. R.; VERDASCA, S.; ALMEIDA, M. R. R.; RANIERI, V. E. L. Panorama das publicações científicas sobre Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, p. 1-22, 2024. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0101r2vu27L1OA>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Coordenação de Estruturas Territoriais. Informações técnicas e legais para a utilização dos dados publicados: Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais 2024: notas metodológicas 01/2025. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. 46 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102169.pdf>. (Coleção Ibgeana).

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. Áreas cadastradas no Programa Bolsa Verde nos editais abertos em 2010 e 2011. Belo Horizonte: IEF, Gerência de Recuperação Ambiental e Planejamento da Conservação de Ecossistemas (Grape), 2025. Dados vetoriais (polígonos). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/geonetwork/api/records/971b4aed-52e8-46e9-9cbc-2d5172d5f51e>. Acesso em 1 maio. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. Relatório de atividades 2013-2014: Programa Bolsa Verde. Belo Horizonte: IEF, 2014. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br>. Acesso em 1 jun. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC, 2014. 151 p. ISBN 978-92-9169-143-2.

LE, T.-A. T. et al. Payments for ecosystem services programs: A global review of contributions towards sustainability. **Heliyon**, Amsterdam, v. 10, n. 1, e22361, jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22361>.

MAPBIOMAS. Deforestation and secondary vegetation statistics by municipalities and states – MapBiomass Brasil Collection 9. Versão 1. Data provider: MapBiomass. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/7STHCP>.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.113, de 05 de junho de 2009. Estabelece normas para a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais sob a denominação de Bolsa Verde, em cumprimento à Lei nº 17.727/2008. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 06 jun. 2009. Seção 1, p. 1. Disponível no portal da ALMG.

MINAS GERAIS. Lei nº 17.727, de 13 de agosto de 2008. Dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, e altera as Leis nº 13.199/1999 e 14.309/2002. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 14 ago. 2008. Seção 1, p. 1. Disponível no portal da ALMG.

MMA, M. DO M. A. E M. DO C. MMA debate pagamentos por serviços ambientais durante o G20. Brasília: MMA, 2024. Disponível <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mma-debate-pagamentos-por-servicos-ambientais-durante-o-g20-1>>.

MOTA, P. K. et al. Payment for Environmental Services: A critical review of schemes, concepts, and practice in Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 899, 165639, nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165639>.

PIRARD, R. Payments for Environmental Services in forests: a review of international trends and lessons learned. **Journal of Environment and Development**, Thousand Oaks, v. 21, n. 3, p. 320-341, 2012.

SNILSVEIT, B. et al. Incentives for climate mitigation in the land use sector—the effects of payment for environmental services on environmental and socioeconomic outcomes in low- and middle-income countries: A mixed-methods systematic review. **Campbell Systematic Reviews**, Chichester, v. 15, n. 3, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cl2.1045>.

STEIN, M. C.; SILVA, L. D. R.; BOTELHO, T. P. **Bolsa Verde Lições Aprendidas**. [Belo Horizonte]: IEF - Instituto Estadual de Florestas, 2022. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/2023/FLORESTAS/Documento_4.1_Li%C3%A7%C3%B5es_-_Aprendidas_BOLSA_VERDE_FINAL.pdf. Acesso em: 1 jun. 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Adoption of the Paris Agreement**. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. Bonn: UNFCCC Secretariat, 12 dez. 2015. “Original: English.” Disponível em: [Informar URL se disponível].

WUNDER, S. et al. Payments for Environmental Services: Past Performance and Pending Potentials. **Annual Review of Resource Economics**, Palo Alto, v. 12, p. 1-24, 2020. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-094206>.