

Desmatamento nos municípios do bioma amazônico entre 2021 e 2024: uma análise a partir da Regressão Ponderada Geográfica e Temporal

Deforestation in municipalities of the amazon biome between 2021 and 2024: an analysis using Geographically and Temporally Weighted Regression

Paulo Guilherme Alarcon Fernandes

Professor Colaborado da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR). Apucarana, Paraná

José Luiz Parré

Professor Titular da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá, Paraná

Tiago Santos Telles

Pesquisador do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná). Londrina, Paraná

GT 04 - Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: O objetivo desse estudo é de estabelecer uma relação entre o crédito rural, as atividades agropecuárias e o desmatamento nos municípios do bioma amazônico no período de 2021 a 2024, bem como identificar a existência de heterogeneidade espacial e temporal, os determinantes do desflorestamento, considerando as especificidades locais. Para isso, foi empregada a Regressão Ponderada Geográfica e Temporal (RPGT), estimando coeficientes de diferentes larguras de banda no espaço e tempo. Foram utilizadas informações de bases do Terrabrasilis, Banco Central do Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e MapBiomas. Os achados mostraram que o desmatamento não acontece de maneira uniforme, apresentando elevada dependência espacial e mudanças ao longo do tempo. Além disso, identificou-se que o crédito rural exibe diferentes efeitos, pois em algumas localidades, a quantidade de contratos tende a apresentar interação negativa com o desmatamento, enquanto o valor total contratado acusa efeito positivo, indicando que houve aglomeração de recursos em atividades potencialmente mais intensivas no uso da terra. Variáveis como pecuária, pastagem e agricultura, também indicaram dispersão distributiva no espaço, sendo que a RPGT apresentou maior aderência aos dados quando comparada a modelos globais, até porque elimina a autocorrelação residual e ressalta as especificidades municipais. Conclui-se que políticas públicas de âmbito abrangente, incluindo todas as municipalidades, são insuficientes para lidar com o desmatamento, visto que seja imprescindível considerar as disparidades regionais na realização de ações destinadas ao crédito rural e emprego da terra.

Palavras-chave: crédito rural, heterogeneidade espacial, uso da terra, políticas públicas, autocorrelação residual.

Abstract: The objective of this study is to establish a relationship between rural credit, agricultural activities, and deforestation in municipalities within the Amazon biome from 2021 to 2024, as well as to identify the existence of spatial and temporal heterogeneity in the determinants of deforestation, considering local specificities. To this end, Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) was employed, estimating coefficients with different bandwidths across space and time. Data were obtained from Terrabrasilis, the Central Bank of Brazil, the Brazilian Institute of Geography and Statistics, and MapBiomas. The findings show that deforestation does not occur uniformly, exhibiting strong spatial dependence and changes over time. Furthermore, rural credit demonstrates heterogeneous effects: in some locations, the number of contracts tends to have a negative relationship with deforestation, while the total contracted amount shows a positive effect, suggesting a concentration of resources in activities that are potentially more land-intensive. Variables such as livestock, pasture, and agriculture also indicate spatial dispersion. The GTWR model showed better fit compared to global models, as it reduces residual autocorrelation and highlights municipal-level specificities. Finally, it is concluded that broad, one-size-fits-all public policies are insufficient to address deforestation. It is essential to consider regional disparities when designing policies related to rural credit and land use.

Keywords: rural credit, spatial heterogeneity, land use, public policies, residual autocorrelation.

1. Introdução

A teoria econômica reconhece a agropecuária como fator importante para o crescimento e desenvolvimento da economia. Todavia, as atividades econômicas podem pressionar e reduzir

áreas naturais por meio do desmatamento, além disso podem demandar alterações institucionais, especialmente as formas de governança, necessárias para lidar com os impactos que essas geram sobre o meio ambiente (Hirschman, 1958). O desmatamento é relacionado ao crescimento econômico por meio de mudanças estruturais na economia. Conforme Kuznets (1973) e Lewis (1954) à medida que a renda cresce, quando sua expansão recai sobre atividades intensivas em terra, há alterações no uso do solo e na organização produtiva e, por consequência, há maior pressão pelo desmatamento. Logo, o financiamento no setor rural serve como meio alocativo de capital que estimula o investimento na produção, expandindo a capacidade de conversão de áreas florestais em áreas agricultáveis (Stiglitz, 1985).

Componentes econômicos como as variações de preços relativos, determinam as decisões sobre o uso da terra, fazendo com que o agente econômico demande uma área maior, ou não, para realizar suas atividades. Angelsen e Kaimowitz (1999) argumentam que a rentabilidade da agropecuária pode ser estimulada por intermédio de políticas de incentivo como o crédito rural e, consequentemente, causar o avanço sobre áreas naturais. Assim, com repercussão sobre o desflorestamento, o crédito rural pode determinar o ritmo e a direção da agropecuária.

No Brasil o histórico acerca da concessão do crédito rural mostra uma seletividade em relação as atividades agropecuárias ou agroflorestais, regiões e perfis de produtores a serem financiados, o que pode justificar seu uso como termo explicativo em investigações sobre o uso da terra (Amaral e Bacha, 2025). Vale destacar, também, que no Brasil, o crescimento e aperfeiçoamento das iniciativas rurais foram impulsionadas por políticas públicas como o crédito rural, estruturando e integrando o meio rural no processo de desenvolvimento. Ainda no Brasil, o crescimento e aperfeiçoamento das iniciativas rurais são estimuladas por políticas públicas como a do crédito rural, estruturando e integrando o meio rural no processo de desenvolvimento. No entanto, a agropecuária está entre os principais causadores do desflorestamento, tornando importante examinar de maneira conjunta as interações entre agropecuária, crédito rural, desmatamento e desenvolvimento econômico.

Em uma abordagem crítica, argumenta-se que o exame econômico convencional mostra limitações ao ligar a economia e o meio ambiente de maneira reducionista, porque se desconsidera a complexidade dos ecossistemas e a relevância dos recursos naturais para o bem-estar humano. Logo, o capital natural precisa ser compreendido como base das atividades econômicas, disponibilizando benefícios indispensáveis, na qual sua degradação compromete o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade do sistema econômico (Andrade e Romeiro, 2011).

Especificamente sobre o bioma amazônico, quando se pensa em desenvolvimento regional, vale destacar que, se por um lado o crédito rural ao estimular o uso da terra pode promover a elevação de renda e do emprego no meio rural, por outro pode impactar a cobertura florestal. Além disso, aponta-se que os recursos financeiros são dispostos de maneira desigual, afetando padrões produtivos e o formato de utilização do espaço. Em suma, a agropecuária é beneficiada pelos valores de empréstimo disponibilizados que impulsionam o crescimento econômico, mas causam alterações estruturais nas localidades, sobretudo o desmatamento (Bezerra, Nascimento e Maia, 2021; Farias, Fiúza e Navarro, 2025; Tenchini e Freitas, 2024; Sobreira *et al.*, 2024).

Inserido nessa agenda de pesquisa, Fernandes e Parré (2026) realizaram uma investigação inicial sobre a influência do crédito rural na conservação do bioma amazônico, utilizando a Regressão Ponderada Geograficamente (RPG) para identificar a heterogeneidade espacial dos efeitos do crédito, da pecuária e da produção agrícola sobre o desmatamento. No presente estudo, visando a continuidade dessa linha de pesquisa, amplia-se o escopo analítico ao incorporar explicitamente a dimensão temporal. Assim, ao considerar que as relações entre crédito rural, atividades produtivas e desmatamento podem ser alteradas ao longo do tempo, sobretudo em função de mudanças econômicas, institucionais e produtivas, este estudo propõe uma análise espaço-temporal do fenômeno. Para tanto, emprega-se a Regressão Ponderada Geográfica e Temporal (RPGT), metodologia que estende a RPG ao permitir que os coeficientes variem simultaneamente no espaço e no tempo, captando dinâmicas que não podem ser identificadas por modelos puramente espaciais ou globais. Especificamente, pretendeu-se identificar uma possível heterogeneidade entre os municípios do bioma amazônico por meio de um modelo econométrico espacial capaz de disponibilizar coeficientes individuais. Ademais, foi implementado o tempo no exame, de 2021 até 2024, devido a disponibilidade dos dados e uma considerável variação na taxa de desflorestamento de 2000 para 2021. Dessa forma, recorreu-se a um modelo espaço-temporal para diagnosticar a validade das variáveis e observar como elas estão dispostas no recorte municipal.

A investigação contribui com a temática ao disponibilizar um modelo capaz de eliminar a autocorrelação espacial dos dados. Mas, também, expor visualmente os agrupamentos e características específicas das localidades frente ao avanço das atividades agropecuárias ou agroflorestais sobre a floresta, tornando a proposta mais específica, além de expor a diferença das variáveis selecionadas no impacto em torno do desflorestamento, principalmente da quantidade de contratos e do valor do crédito rural.

2. Revisão da Literatura

A literatura é unânime em reconhecer que o desmatamento do bioma amazônico é condicionado por interações espaciais com disparidades locais e causado por fatores econômicos como o crédito rural. Além disso, do mesmo modo, os agentes econômicos e *stakeholder* do setor agropecuário condicionam o uso da terra. Neste sentido, estudos globais que abrangem o recorte territorial como um todo, ocultam as especificidades locais. Por isso, viabiliza-se o emprego de métodos capazes de captar as alterações pontuais com dependência espacial.

Sobre a dependência espacial e o efeito de transbordamento, Barros (2026) acusa que o desmatamento no bioma amazônico ocorre indiretamente pela expansão agropecuária de outras regiões. Devido a isso, de acordo com o autor, precisa-se incluir a autocorrelação espacial nas ações políticas para não gerar consequências assimétricas na área. Complementando, Siegel *et al.* (2026) discorrem que o avanço sobre a floresta acontece de maneira concentrada, com grande agregação no espaço, sustentando o uso de instrumentos estatísticos locais e adaptativos para reconhecer as diferenças entre os municípios.

Para o crédito rural, identifica-se uma ambiguidade frente ao desmatamento. Faria *et al.* (2024), exibem a interação não homogênea entre o uso do recurso financeiro e do desflorestamento, porque depende da maneira que ocorre a distribuição e para qual atividade os valores vão ser utilizados. Conforme os autores, algumas categorias podem acusar um vínculo negativo com a redução de florestas, ratificado em Fernandes e Parré (2026). No entanto, outros contratos, quando mal regulamentados, intensificam o desmatamento. Em linha semelhante, Perosa *et al.* (2026) explanam que o número de contratos e o volume monetário do crédito rural são diferentes e expressam elementos distintos sobre o uso da terra. Então, inviabilizando o tratando delas como variáveis substitutas.

Especificamente, acerca das atividades produtivas e o uso da terra, Fernandes e Parré (2026) argumentam que a pecuária gera efeitos distintos de acordo com o estágio de ocupação da área. Em municípios de fronteira agrícola, a expansão causa o avanço sobre a mata, no mesmo momento que em regiões consolidadas, pode-se emergir ações ligadas à recuperação de pastagens e intensificação produtiva. O argumento é consistente com o de Feltran-Barbieri e Féres (2021), que identificam a recuperação de pastagens como um meio de reduzir a pressão sobre novas áreas, quando adequadamente incentivado.

De maneira análoga, a agricultura temporária apresenta ter diferentes impactos no espaço. Na investigação de Caldeira e Parré (2020), no Cerrado, a variável é apontada como o principal fator de desmatamento, mas em pesquisas voltadas para a Amazônia, como de

Assunção *et al.* (2026), não se pode generalizar a afirmação por depender da situação local, o tempo de ocupação e a ligação espacial entre as municipalidades. Em conclusão, novamente, confirma-se a preponderância da inferência local em vez da global para o bioma amazônico.

Na parte empírica, é encontrado o emprego de modelos econométricos espaciais para captar a dependência espacial e a heterogeneidade regional definida por fatores econômicos, produtivos e de uso da terra. Dito isso, Barros (2026) aplicou um painel dinâmico com defasagens para identificar o uso da terra para o cultivo de soja e cana-de-açúcar. Por sua vez, Assunção *et al.* (2026) recorrem aos modelos espaciais globais para averiguar a qualidade das políticas públicas e os componentes econômicos sobre o desflorestamento.

Com foco em métodos locais, Siegel *et al.* (2026) destacam que a redução da floresta ocorre de maneira pontual. Especificamente sobre o crédito rural, Faria *et al.* (2024) também recorrem ao painel, mas neste caso, empregando diferentes modalidades de crédito. Com isso, os efeitos do recurso financeiro no bioma podem ser positivos ou negativos a depender da finalidade e como é distribuído. Ainda em torno do crédito rural, Perosa *et al.* (2026) usa de instrumentos que distinguem o valor monetário e a quantidade dos contratos rurais. Os autores concluem que a aglomeração de valores em pouca quantidade de contratos pode pressionar o uso do espaço de floresta.

Indo para o número de rebanhos e área de pastagens, Fernandes e Parré (2026) exibem empiricamente a discrepância entre os municípios e a relação negativa com o desmatamento, exaltando o movimento de recuperação de pastagens. O argumento vai de encontro com Feltran-Barbieri e Féres (2021), pois os autores destacam que a intensificação das atividades rurais pode reduzir a necessidade de uso de novas áreas, isto é, quando adequadamente realizadas.

Em termos gerais, com base nas pesquisas destacadas, existem os efeitos espacial e temporal no desmatamento do bioma amazônico, sustentando a implementação de modelos locais dada a interação das regiões. Ademais, há consenso de que políticas e ações abrangentes, são ineficientes quando cada municipalidade apresenta seu próprio contexto. Assim, sendo interessante incorporar a heterogeneidade espacial para entender a ocorrência e persistência da utilização de áreas florestais.

3. Metodologia

A região selecionada para o exame espacial foi a do bioma amazônico que abrange 559 municípios, as municipalidades estão localizadas nos estados do Acre, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará, Amapá, Maranhão e Tocantins. Esse recorte territorial também é utilizado em Barros (2026). Com isso, o programa aberto R foi empregado em conjunto com

a biblioteca GWmodel, desenvolvida por Gollini *et al.* (2014) e implementada por Lu *et al.* (2025), para aplicar o método proposto. Além disso, os valores monetários foram todos ajustados para a data de dezembro de 2025 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), o mesmo usado por Faria *et al.* (2024) e Perosa *et al.* (2026).

Desta forma, baseando-se na retração da taxa de desmatamento do bioma amazônico no ano de 2020 para 2021, decidiu-se trabalhar com o recorte temporal de 2021 até 2024, além da falta de informações completas antes ao período. A decisão de usar informações após 2021 também é vista em Siegel *et al.* (2026) e Dias *et al.* (2025). Logo, foram coletados dados de diferentes fontes para compor o conjunto de variáveis empregadas na análise.

No TerraBrasilis (2026), base igualmente utilizada por Fernandes e Parré (2026), a taxa de desmatamento foi obtida e usada como variável dependente. Por sua vez, o Banco Central do Brasil (BCB, 2026) forneceu valor e número de contratos de crédito rural. O total de unidades em rebanho, valor agregado da agricultura temporária e o espaço utilizado pela agricultura permanente foram adquiridos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026). Ainda com as independentes, obteve-se do Mapbiomas (2026), fonte acionada em Faria *et al.* (2024), a cobertura florestal e áreas hídrica e de pastagem, Tabela 1.

Tabela 1 – Informações das variáveis utilizadas na investigação

Variáveis	Descrição	Medida	Fonte
Desmatamento (des)	Taxa de desmatamento	%	TerraBrasilis
Crédito Rural – Valor (cr_vl)	Valor total de crédito rural	R\$	BCB
Crédito Rural – Quantidade (cr_qt)	Quantidade total de contratos de crédito rural	Un.	BCB
Rebanhos (reb)	Quantidade de animais em rebanho	Un.	IBGE
Pastagem (pas)	Área de pastagem	Ha.	Mapbiomas
Agricultura Permanente (agri_p_a)	Área destinada para agricultura permanente	Ha.	IBGE
Agricultura Temporária (agri_t_vl)	Valor da agricultura temporária	R\$	IBGE
Água (agua)	Superfície hídrica	Ha.	Mapbiomas
Floresta (flo)	Cobertura Florestal	Ha.	Mapbiomas

Fonte: realizado pelos autores.

Legenda: porcentagem (%); reais (R\$); unidades (Un.); hectares (Ha.); Banco Central do Brasil (BCB); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Conhecida as variáveis usadas, seguiu-se com uma inferência descritiva para expor as características dos dados. Na Tabela 2, os valores mínimo, médio, mediano e máximo apontam a disposição das informações, além do 1º e 3º quartis. Desta forma, observa-se assimetrias entre as variáveis, medianas baixas e elevados valores máximos, exibindo não uniformidade dos municípios, padrão comum como em Barros (2026) e Siegel *et al.*, (2026). Percebe-se que uma parte das localidades não registraram desmatamento ou reportaram um nível baixo. No entanto, as médias entre os anos e os valores máximos acusam municipalidades com taxas elevadas. Por fim, cerca de 700% de desflorestamento de uma localidade em 2022, confirma a aglomeração.

Por sua vez, o crédito rural, tanto nos valores como na quantidade de contratos, mostra crescimento ao passar dos anos. Com isso, as medianas e médias cresceram, exibindo a expansão do acesso ao recurso financeiro, resultado compatível com Faria *et al.* (2024) e Perosa *et al.* (2026). Percebe-se, desde já, concentração dos valores e dos contratos devido a discrepância entre o terceiro quartil, Q3, e o máximo. Assim, poucas regiões concentram maior proporção das quantias das duas variáveis, enquanto a maioria das localidades apresentam volumes baixos ou nulos, justificando a verificação de uma possível heterogeneidade.

Também é percebido um avanço nas atividades da pecuária, analogamente acionada em Barros (2026), por causa do crescimento das médias e medianas dos termos explicativos de pastagem e rebanho. Ainda, as desigualdades são novamente confirmadas por intermédio das diferenças dos valores máximos e os medianos, médios e de terceiro quartil. Contrário dos termos discorridos até então, a agricultura permanente exibe uma média acima de sua mediana e terceiro quartil, propondo maior dispersão no território do bioma amazônico, embora ainda distante do máximo. Em conclusão, para a agricultura temporária, confirma-se um menor nível de concentração entre os anos, mas ainda elevado.

Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis por ano e média

Var.	Med.	Est.	Anos			
			2021	2022	2023	2024
Desmatamento (des)	(%)	Mi.	0,00	0,00	0,00	0,00
		Q1	0,00	0,00	0,00	0,00
		Mn.	0,43	0,55	0,73	0,67
		Md.	11,38	18,97	11,62	8,78
		Q3	4,76	8,20	6,96	6,11
		Mx.	537,95	705,74	287,57	175,58
		Mi.	0	0	0	0
Crédito Rural – Valor (cr_vl)	R\$/1000000	Q1	2,19	2,66	2,84	3,31
		Mn.	19,66	26,34	24,78	25,40
		Md.	78,85	95,14	109,27	99,68
		Q3	86,28	109,20	120,98	115,75
		Mx.	1.720,27	1.902,67	2.057,23	2.679,24
		Mi.	0	0	0	0
Crédito Rural – Quantidade (cr_qt)	Un.	Q1	45	60	49	55
		Mn.	176	179	181	183
		Md.	300	311	305	312
		Q3	458	466	451	440
		Mx.	3.346	3.428	3.302	2.991
		Mi.	0	0	0	0
Rebanhos (reb)	Un.	Q1	49.627	52.044	56.826	57.500
		Mn.	137.769	140.213	147.780	151.037
		Md.	338.514	349.499	354.053	361.847
		Q3	341.298	366.238	368.610	373.907
		Mx.	8.901.376	10.982.450	9.717.500	9.640.304
		Mi.	0	0	0	0
Pastagem (pas)	Ha.	Q1	8.185	8.761	9.724	9.941
		Mn.	44.221	45.649	47.530	48.957
		Md.	92.722	95.980	98.834	100.431
		Q3	123.467	128.662	131.660	133.114
		Mx.				

XVI World Congress of Rural Sociology
64th Congress of the Brazilian Society of Rural
Economics, Management and Sociology

JULY 19 - 23, 2026 | PORTO ALEGRE/RS | BRAZIL | UFRGS

		Mx.	1.804.910	1.870.750	1.922.237	1.959.048
		Mi.	0	0	0	0
		Q1	29	29	30	26
		Mn.	137	141	135	141
		Md.	1.423	1.485	1.489	1.578
		Q3	564	569	566	643
		Mx.	61.830	61.830	61.830	61.830
		Mi.	0,00	0,00	0,00	0,00
		Q1	2,65	3,12	3,44	3,57
		Mn.	11,68	15,38	17,47	19,48
		Md.	247,50	288,37	267,55	218,61
		Q3	65,72	84,78	82,15	94,25
		Mx.	9.967,56	11.478,92	8.313,73	7.176,81
		Mi.	0	0	0	0
		Q1	256	319	375	321
		Mn.	2.108	2.287	2.301	2.108
		Md.	19.156	20.775	19.962	19.122
		Q3	10.768	12.454	12.311	11.567
		Mx.	444.822	641.669	540.819	473.410
		Mi.	0	0	0	0
		Q1	24	22	22	21
		Mn.	94	93	92	92
		Md.	597	593	590	589
		Q3	470	466	464	462
		Mx.	14.747	14.674	14.629	14.612

Fonte: realizado pelos autores.

Legenda: porcentagem (%); reais (R\$); unidades (Un.); hectares (Ha.); variáveis (Var); medidas (Med); Est. (estatísticas); Mínimo (Mi.); Mediana (Mn.); Média (Md.); Máximo (Mx.).

Tanto a água como a floresta, termos explicativos, são mais estáveis no tempo em comparação aos demais. Logo, a cobertura florestal acusa leve redução na média e mediana de 2021 até 2024, compatível com o processo de desflorestamento. No caso da área hídrica, há dispersão, poucos municípios com bastante água disponível e outros com baixa quantidade, mas uma relativa constância no tempo, não registrando mudanças consideráveis com o passar dos anos. Além disso, a cobertura hídrica pode afetar o desmatamento devido a viabilidade da irrigação que é demandada em maior proporção por algumas culturas. Em suma, com base na inferência descritiva realizada, existe heterogeneidade, mas para confirmar essa afirmação, é necessário o emprego de métodos adequados ao espaço.

Em busca de compreender a influência do crédito rural no desmatamento do bioma amazônico no espaço e no tempo, empregou-se a Regressão Ponderada Geográfica e Temporalmente (RPGT) definida por Huang, Wu e Barry (2010) que estenderem a Regressão Ponderada Geograficamente (RPG) incluindo o efeito temporal, sendo capaz de captar a parte espacial e temporal de um modelo estatístico. Com isso, permite-se que os parâmetros sejam estimados localmente, ou seja, é obtido um coeficiente por unidade espacial. Desta forma, os parâmetros estimados podem variar e captar efeitos locais, conforme mostra a Equação (1):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, n \quad (1)$$

em que (u_i, v_i) são as coordenadas do ponto i no espaço, $\beta_0(u_i, v_i)$ é o intercepto e $\beta_k(u_i, v_i)$ representa a composição de valores dos parâmetros no ponto i . Assim, é viabilizada as variações dos coeficientes captado os efeitos locais.

No ajuste do modelo, a localidade próxima ao ponto i afeta em maior proporção os parâmetros estimados de $\beta_k(u_i, v_i)$ que os termos distantes da observação. A partir disso, define-se uma matriz de pesos espaciais que atribui um grau de importância para cada observação para obter os coeficientes de i . Comumente, as áreas mais próximas recebem maior peso e vice-versa. Com o intuito de definir o nível de influência de cada termo, é apresentado dois regimes, a função de kernel fixa e a adaptativa. A diferença está na distância e no número de vizinhos. No caso do fixo, a distância é constante, mas o número de vizinhos muda, sendo o contrário válido ao adaptativo.

Nesse sentido, pode-se alterar o quanto uma localidade pode afetar a outra de acordo com a largura de banda que produz a queda do impacto, considerando a distância entre os pontos i e j . Para isso, os pontos de coordenadas (x_i, y_i) e (x_j, y_j) são empregados usando a distância euclidiana. Contudo, diferente da RPG convencional que recorre apenas aos pontos de x e y , a RPGT define a matriz de pesos adicionando o t . Assim, chega-se à Equação (2):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (2)$$

com a inclusão do t , busca-se estimadores para cada variável k e cada observação no espaço e tempo. De maneira similar, expressasse o $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ na Equação (3):

$$\hat{\beta}(u_i, v_i, t_i) = [X^T W(u_i, v_i, t_i) X]^{-1} X^T W(u_i, v_i, t_i) Y \quad (3)$$

em que $W(u_i, v_i, t_i)$ é a diagonal de $(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{in})$ e o n é o número de observações. Nesse caso, os elementos da diagonal estão em função de (u_i, v_i, t_i) , disponibilizando os pesos espaciais e temporais dos termos adjacentes ao i . Portanto, a qualidade da RPGT depende na especificação adequada da função de decaimento de α_{ij} . Adicionalmente, ainda se utiliza o critério dos termos mais próximos para definir os pesos, mas com dois critérios, o temporal e o espacial.

Geralmente medidos em unidades diferentes, por exemplo, o tempo em anos e o espaço em metros. Por isso, propõem-se integrar as distancias por intermédio de uma função. Dada a

distância espacial, d^s , e a temporal, d^t , combinam-se em uma nova medida de espaço temporal, d^{st} , como mostrado na Equação (4):

$$d^{st} = d^s \otimes d^t \quad (4)$$

em que o $\otimes$ pode representar diferentes operadores. Caso seja um de soma, pode-se expressar o d^{st} como uma combinação linear, conforme Equação (5):

$$d^{st} = \lambda d^s + \mu d^t \quad (5)$$

sendo o λ e o μ os fatores de escala usados para realizar o balanceamento de acordo com os sistemas métricos empregados. Em conclusão, os fatores de escala são necessários para que um efeito não se sobressaia e domine o outro.

A partir da Equação (5), desde que as distâncias euclidiana e gaussiana tenham sido usadas par a definição da matriz de pesos espaciais, adquire-se a Equação (6):

$$(d_{ij}^{st})^2 = \lambda \left[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \right] + \mu (t_i - t_j)^2 \quad (6)$$

em que t_i e t_j são os tempos observados nas localidades i e j. Com $(d_{ij}^{st})^2$, é possível encontrar a diagonal α_{ij} que pode ser expressa como mostra a Equação (7):

$$\begin{aligned} \alpha_{ij} &= \exp \left\{ -\frac{(\lambda ((u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2) + \mu (t_i - t_j)^2)}{h_{ST}^2} \right\} \\ &= \exp \left\{ -\left(\frac{(d_{ij}^s)^2}{h_S^2} + \frac{(d_{ij}^t)^2}{h_T^2} \right) \right\} \\ &= \exp \left\{ -\frac{(d_{ij}^s)^2}{h_S^2} \right\} \cdot \exp \left\{ -\frac{(d_{ij}^t)^2}{h_T^2} \right\} \\ &= \alpha_{ij}^s \cdot \alpha_{ij}^t \end{aligned} \quad (7)$$

sendo $\alpha_{ij}^s = \exp - (d_{ij}^s)^2 / h_S^2$, $\alpha_{ij}^t = \exp - (d_{ij}^t)^2 / h_T^2$, $(d_{ij}^s)^2 = (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2$, $(d_{ij}^t)^2 = (t_i - t_j)^2$, h_{ST} é o parâmetro da largura de banda do espaço e tempo, e $h_S^2 = h_{ST}^2 / \lambda$ e $h_T^2 = h_{ST}^2 / \mu$ são os parâmetros da largura da banda do espaço e tempo, respectivamente. Por isso, usa-se os elementos da diagonal, α_{ij} , que são multiplicados por $\alpha_{ij}^s \cdot \alpha_{ij}^t$ e viabilizam a construção da matriz de espaço, W^S , e tempo, W^T , isto é, $W^{ST} = W^S \cdot W^T$.

Ademais, denota-se τ como μ / λ e $\lambda \neq 0$, normalizando o coeficiente de d^s a partir da Equação (6), é observada a Equação (8):

$$\frac{(d_{ij}^{ST})^2}{\lambda} = \left[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \right] + \tau(t_i - t_j)^2 \quad (8)$$

no qual a novidade está no τ que tem função de aumentar ou diminuir a distância temporal para adequá-la a espacial. Continuando, para simplificar, define-se $\lambda = 1$ para reduzir o número de parâmetros, apenas o μ é determinado. Além disso, o μ pode ser validado pelo uso do coeficiente de determinação (R^2) e o Critério de Informação de Akaike (AIC).

Apresentado o método, é formulada a equação com as variáveis usadas. Conforme Zhu *et al.* (2024), pela RPGT integrar funções de tempo e espaço em seu parâmetro de estimação, pode-se definir a Equação (9):

$$Y_{it} = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (9)$$

no qual o (u_i, v_i, t_i) representa a localização geográfica considerando longitude, latitude e o tempo, respectivamente, por recorte espacial; o X_{ik} indica a variável na área, i , até o k último termo; e o ε_i significa erro por observação, exposto por Fotheringham, Crespo e Yao (2015).

Alocando as variáveis usadas na pesquisa na Equação (9), chega-se na Equação (10):

$$\begin{aligned} \ln(des_{it}) = & \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \ln(cr_vl) \cdot \beta_1(u_i, v_i, t_i) + \ln(cr_qt) \cdot \beta_2(u_i, v_i, t_i) \\ & + \ln(reb) \cdot \beta_3(u_i, v_i, t_i) + \ln(pas) \cdot \beta_4(u_i, v_i, t_i) \\ & + \ln(agri_p_a) \cdot \beta_5(u_i, v_i, t_i) + \ln(agri_t_vl) \cdot \beta_6(u_i, v_i, t_i) \\ & + \ln(agua) \cdot \beta_7(u_i, v_i, t_i) + \ln(flo) \cdot \beta_8(u_i, v_i, t_i) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (10)$$

sendo o regressando, des , e os regressores: cr_vl , cr_qt , reb , pas , $agri_p_a$, $agri_t_vl$, $agua$ e flo . Todos, em logaritmo natural para reduzir a variância e padronizar as diferentes medidas, viabilizando uma comparação direta em termos percentuais. Desta forma, os coeficientes, β 's, são elasticidades, pois o acréscimo de X % varia β % em Y . De outra forma, caso o cr_vl aumente em termos percentuais, o coeficiente determinará variação percentual em des . Por fim, o β_0 é o intercepto da equação que é definido por (u_i, v_i, t_i) .

4. Discussão dos Resultados

Antes de definir a largura de banda, foi verificada a qualidade das variáveis. Inicialmente, buscou-se identificar algum regressando endógeno pelo uso do teste de Hausman. Após a não identificação de nenhuma, seguiu-se com o teste de Fator de Inflação da Variância (FIV), que não mostrou problemas de autocorrelação. Embora o termo que represente o valor

de crédito rural ter algum nível de correlação com a quantidade de contratos da linha de financiamento, ambas foram mantidas por expressar relações diferentes do grau de desflorestamento do bioma amazônico. Em conclusão, esses são elementos comumente usados nas discussões sobre o crédito ao meio rural e o uso da terra, conforme em Faria *et al.* (2024) e Perosa *et al.* (2026).

Seguindo, foi confirmada a boa aderência de instrumentos espaciais por intermédio do teste LM simples e robusto. Como mostrado na Tabela 3, tanto a versão menos rigorosa e a mais exigente exibem autocorrelação espacial, ambas significativas para os efeitos de defasagem e erro, efeito de derramamento também encontrado em Barros (2026). Com isso, possibilitando o uso da RPGT. No entanto, para definir a RPGT mais adequada aos dados, uma largura de banda é definida considerando o momento temporal pelo critério que melhor se adequa, Validação Cruzada (CV) ou Critério de Informação de Akaike (AIC), como argumentam Fotheringham, Crespo e Yao (2015). Adicionalmente, a largura de banda ótima para o espaço e tempo deve ser definida para construir a matriz de pesos espaciais e, finalmente, estimar a equação Equação (10).

Tabela 3 – Resultados do teste LM para efeitos espaciais

Teste	LM
Dependência especial de defasagem	64,33***
Dependência especial de erro	61,94***
Dependência especial de defasagem localmente robusto	6,23***
Dependência especial de erro localmente robusto	8,62***

Fonte: original da pesquisa.

Legenda: 1% de significância (***); 5% de significância (**); 10% de significância (*).

Por sua vez, a largura de banda exhibe alguns formatos distributivos como o global, gaussiano, exponencial, bisquare, tricube e o boxcar, expostos visualmente em Gollini *et al.* (2014). Pode-se visualizar os resultados de aderência dos formatos na Tabela 4, contendo os métodos, o tipo de função kernel, fixa ou adaptativa, e o Erro Quadrático Médio (EQM) que apresenta um valor que quanto menor for, maior é a aderência aos dados. Desta forma, com um EQM de 2257,68, a composição do método CV, kernel Bisquare, tipo adaptativo e CV de 64, apresentou-se como a que deve ser utilizada.

Além disso, a CV de 64 significa que para determinar o coeficiente da localidade i , os valores de 64 municípios adjacentes são considerados, corroborando com Assunção *et al.* (2026) e Siegel *et al.* (2026) de que o desflorestamento acontece de maneira localizada. Isso expressa um elevado nível de heterogeneidade espacial, justificando a preferência pelo modelo

local. De outra forma, um número baixo de termos, quando comparado ao total de 559 localidades, é considerado na determinação do β do i.

Tabela 4 – Teste de definição de banda da RPGT

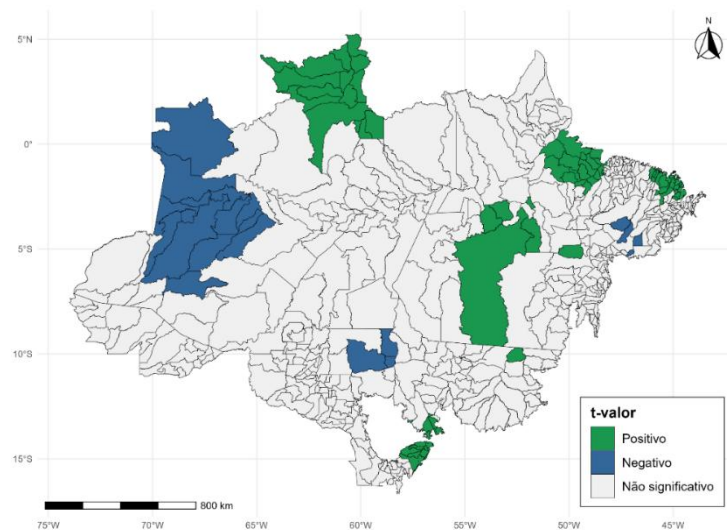
Método	Kernel	Tipo	AIC/CV	EQM
AIC	Bisquare	Adaptativo	87	6.468,72
AIC	Gaussiano	Adaptativo	18	6.525,63
AIC	Exponencial	Adaptativo	17	6.518,08
AIC	Tricube	Adaptativo	112	6.514,81
AIC	Boxcar	Adaptativo	67	6.597,69
AIC	Bisquare	Fixo	0,1398	7.078,74
AIC	Gaussiano	Fixo	0,0524	7.053,94
AIC	Exponencial	Fixo	0,0449	7.019,45
AIC	Tricube	Fixo	0,1404	7.090,20
AIC	Boxcar	Fixo	0,1109	7.138,25
CV	Bisquare	Adaptativo	64	2.257,68
CV	Gaussiano	Adaptativo	15	2.329,39
CV	Exponencial	Adaptativo	16	2.319,33
CV	Tricube	Adaptativo	87	2.328,74
CV	Boxcar	Adaptativo	53	2.471,61
CV	Bisquare	Fixo	0,1290	3.037,56
CV	Gaussiano	Fixo	0,0413	2.982,52
CV	Exponencial	Fixo	0,0230	2.853,80
CV	Tricube	Fixo	0,1330	3.062,83
CV	Boxcar	Fixo	0,1109	3.148,61

Fonte: original da pesquisa.

Definido o modelo da RPGT, os coeficientes foram estimados por ano para efeitos comparativos, e média com foco em uma análise agregada. Desta forma, para simplificar o entendimento, selecionou-se as municipalidades com os coeficientes significativos a 5%, colocando-as em mapas. A Figura 1, é apresentada à disposição da quantidade de contratos, cr_qt , de 2022, expondo locais de resultados negativos e positivos, tal padrão é encontrado em Faria *et al.* (2024) e Perosa *et al.* (2026) que argumentam sobre a disposição dos contratos no espaço e sua relevância para o entendimento dos impactos na floresta.

Quando comparada a distribuição do número de contratos no espaço com o valor do crédito rural adquirido, percebe-se que o formato da Figura 2 não se distancia da quantidade de acordos em 2022. Contudo, a cr_vl expõe relação direta com o desflorestamento, ou seja, quanto maior a totalidade monetária contratada para o meio rural, mais elevada é a taxa de desmatamento, embora algumas localidades tenham mostrado efeito inverso.

Figura 1 – Coeficientes significativos à 5% para a variável de quantidade de crédito rural contatado, *cr_qt*, de 2022



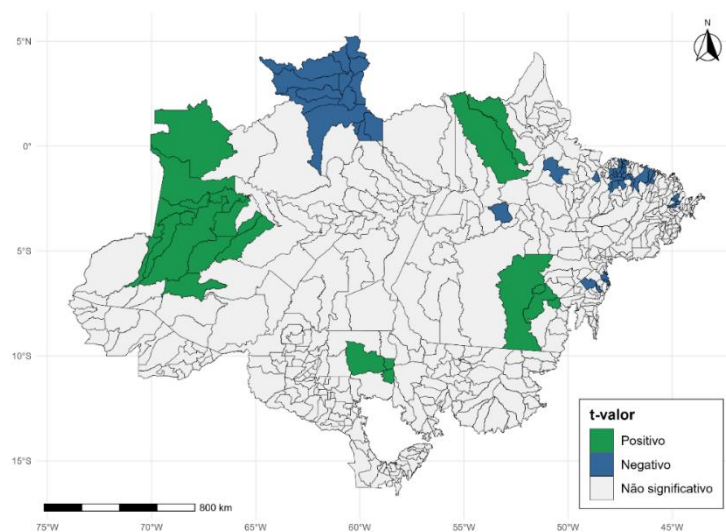
Fonte: original da pesquisa.

Portanto, enfatiza-se o que os recursos monetários podem afetar o desflorestamento quando não adequado a critérios, discutido por Assunção *et al.* (2026) e Barros (2026). Logo, contrastando com a quantidade de acordos e sinalizando que poucos contratos acumulam maior proporção do valor do crédito. Em suma, isso mostra que os recursos financeiros usados em atividades que causam desmatamento estão aglomerados em localidades específicas e em detenção de poucos agentes.

Contudo, há municípios que a interação entre o desflorestamento e quantias monetárias destinadas ao meio rural, *cr_vl*, é negativa. Por conseguinte, o emprego do recurso pode reduzir o desmatamento por intermédio de atividades que contribuem ao mantimento e manutenção da floresta como os produtos não derivados de madeira, colocado por Ticktin (2004), e a recuperação de pastagens, destacado por Feltran-Barbieri e Féres (2021). Em suma, o uso das quantias monetárias voltadas as atividades rurais podem ser benéficas para o bioma amazônico, desde que reguladas como Fernandes e Parré (2026) argumentam.

O movimento de recuperação de pastagens exposto por Feltran-Barbieri e Féres (2021) é confirmado quando comparadas as médias das variáveis rebanho, *reb*, e de pasto, *pas*. Seus efeitos no desmatamento ocorrem em áreas de avanço sobre a mata e locais que a exploração da terra ocorre por maior tempo.

Figura 2 – Coeficientes significativos à 5% para a variável de valor de crédito rural, *cr_vl*, média de 2022



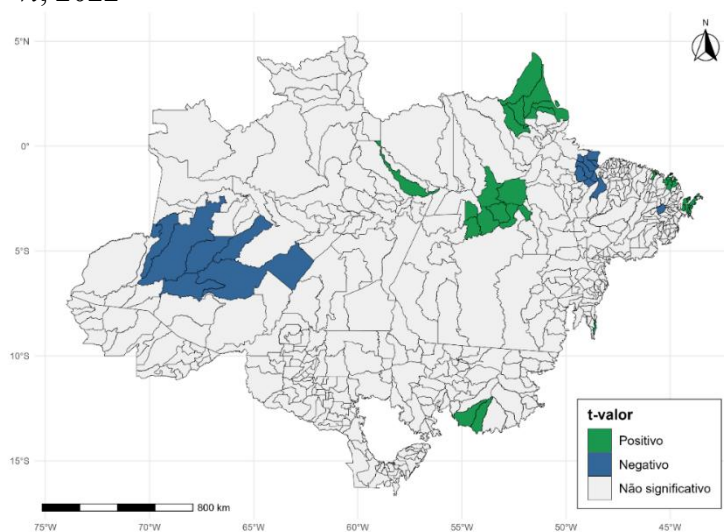
Fonte: original da pesquisa.

Em vista disso, o impacto positivo acontece onde há mais espaço para desflorestar enquanto a incidência negativa é encontrada nos municípios de menor taxa de desflorestamento, conforme já apontado por Fernandes e Parré (2026). Em resumo, os coeficientes negativos são justificados pela ação de recuperação de pastagens, apontado por Feltran-Barbieri e Féres (2021), e a intensificação das atividades rurais.

Tal contraste entre regiões de atuação rural recente e tradicional é, novamente, exposta no termo explicativo que representa o valor gerado pela agricultura temporária, *agri_t_vl*, Figura 3. Com isso, visualiza-se agrupamentos de relação negativa em algumas municipalidades do recorte, e positivas onde ocorre a expansão da fronteira do desmatamento. Assim, o resultado é diferente do encontrado por Caldeira e Parré (2020) no bioma do Cerrado, pois os autores argumentam que a atividade agrícola é o principal fator do desmatamento. Contudo, no contexto amazônico, não se pode realizar tal afirmação.

Examinado as respostas da RPGT, focou-se em validar sua qualidade para expressar a heterogeneidade presente nos municípios localizados no bioma amazônico. Para isso, foi aplicado o teste de Hausman espacial para os modelos de defasagem espacial, Spatial Lag Model (SAR), e de erro espacial, Spatial Error Model (SEM), em busca da definição do efeito, fixo ou aleatório. Ambos os testes comparativos são significativos a 1%, indicando que os efeitos fixos são preferíveis aos aleatórios. Por conseguinte, definidos os modelos globais, foi implementada uma comparação das estatísticas da RPGT, SEM e SAR, Tabela 5.

Figura 3 – Coeficientes significativos à 5% para a variável de valor gerado pela agricultura temporária, *agri_t vl*, 2022



Fonte: original da pesquisa.

O SEM se mostrou pouco aderente aos dados, porque exibe um coeficiente de determinação baixo, 0,16, e um erro médio elevado quando comparados aos demais, 1,28. Para o SAR, visualiza-se na Tabela 5 um R^2 de 0,78, isso é, as variáveis utilizadas são capazes de explicar 78% do desmatamento. Além de ostentar os menores RMSE, AIC e AICc, tornando-o preferível entre os globais. Em conclusão, havendo apenas dependência espacial global, destaca-se o SAR.

Tabela 5 – Estatísticas comparativas do modelo MV, SEM, SAR e RPGT

Modelo	AIC	AICc	Pseudo R^2	RMSE
MV	7.478,22	7.478,20	0,16	1,2825
SEM	18.290,74	18.290,86	0,16	1,2794
SAR	4.546,71	4.546,83	0,78	0,6618
RPGT	5.620,08	6.508,46	0,71	0,7536

Fonte: original da pesquisa.

Legenda: Máxima Verossimilhança (MV).

No entanto, como foi identificada heterogeneidade espacial, preferiu-se a RPGT mesmo sendo menos parcimoniosa. Ademais, a RPGT foi a única capaz de eliminar a autocorrelação espacial dos resíduos, provando sua adequação. Observando a Tabela 6, no SEM há elevada autocorrelação espacial residual, o SAR é capaz de reduzir drasticamente, mas não a eliminando completamente, e, por sua vez, RPGT a eliminou. Assim, prova-se que o efeito não é apenas global, pois a autocorrelação espacial dos resíduos está sendo absorvida pela heterogeneidade no espaço e tempo dos coeficientes.

Tabela 6 – Resultados do teste de I de Moran para autocorrelação espacial

Modelo	2021	2022	2023	2024
SEM	0,2524***	0,2547***	0,2832***	0,2245***

SAR	0,1247***	0,0537**	0,0493**	0,1443***
RPGT	-0,0149	-0,0297	-0,0255	0,0083***

Fonte: original da pesquisa.

De forma geral, os achados indicam que o desmatamento do bioma amazônico depende do efeito espacial e temporal e as relações heterogêneas do emprego do crédito rural, das atividades produtivas e uso da terra. Desta forma, a evidência empírica converge com as de Assunção *et al.* (2026), Barros (2026) e Siegel *et al.*, (2026), pois ações uniformes se mostram pouco eficazes por causa de características locais. Com isso, mesmo o SAR apresentando bom desempenho, não foi capaz de eliminar a autocorrelação espacial dos termos residuais, apenas a RPGT, embora o ano de 2024 tenha apresentado significância estatística. O resultado de 2024 pode ter sido causado por uma variável que é relevante exclusivamente para o ano e ficou fora da modelagem. Em suma, a RPGT exibe uma representação mais adequada da dinâmica do desflorestamento.

5. Considerações finais

A pesquisa averiguou a interação do crédito rural, atividades agropecuárias e o desmatamento do bioma amazônico com as dimensões espacial e temporal de 2021 até 2024 por intermédio de uma RPGT. Percebeu-se que o desflorestamento não acontece de maneira uniforme no território, mas desigual ao longo do tempo. Desta forma, confirmando a inadequação dos modelos globais para entender o fenômeno. Nesse sentido, o crédito rural apresenta diferentes resultados a depender da forma que foi alocado, separando o valor da quantidade de contratos.

Enquanto o total de contratos mostrou influência inversa do avanço do desflorestamento sobre a terra em certa proporção de municípios, o valor do recurso financeiro apontou afeito positivo em localidades específicas. Portanto, orientando a aglomeração de valores em poucos contratos. O achado valida o argumento de que não somente as quantias monetárias, mas a disponibilização e a finalidade do crédito rural são componentes que impactam o desmatamento. Ou seja, é confirmada a discussão sobre a temática, implementando visualmente as significâncias por município e captando alterações no tempo.

Sobre as atividades produtivas do meio rural, a pecuária e o uso de pastagens mostram resultados ambíguos, no formato análogo ao valor e a quantidade de contratos de crédito rural. Onde há expansão agrícola, municipalidades de fronteira, tende-se a intensificar o avanço na terra, enquanto áreas consolidadas com maior espaço utilizado, estão associados a ações como recuperação de pastos e intensificação produtiva. Novamente, em contexto similar, a agricultura

exibiu diferentes resultados no espaço, isto é, efeitos distintos entre os municípios. Então, inviabilizando a generalização para o bioma como um todo, diferente das evidências achadas em biomas alternativos.

Quando se objetivou validar a qualidade do modelo selecionado, comparou-se a RPGT com um SAR e SEM. Embora o SAR tenha mostrado adequado desempenho global, apenas a RGPT foi eficaz em eliminar a autocorrelação espacial residual. Assim, confirmou-se que a dependência especial decorre, em maior proporção, da heterogeneidade local dos coeficientes. Em conclusão, os resultados confirmam que o desmatamento do bioma amazônico é causado por relações locais e temporais, estas que não podem ser captadas por modelos globais.

Finalmente, as constatações empíricas recomendam que políticas públicas destinadas para todos os municípios do bioma amazônico, no formato padronizado, são inadequadas por não considerarem as características individuais de cada localidade. Portanto, necessita-se de instrumentos sensíveis às especificidades municipais para o direcionamento do crédito rural e as atividades produtivas que amenizam, ou eliminam, a pressão sobre a floresta.

Como inconsistência, foi identificada dificuldade em obter maior quantidade de variáveis econômicas capazes de explicar o regressando. Isso ocorre por se tratar de informações municipais que, geralmente, levam maior quantidade de tempo para serem reportadas, além do tipo de recorte que inviabiliza a disposição de alguns dados. Por conseguinte, impedindo elevar o coeficiente de determinação do modelo selecionado. Como solução e proposta para investigações futuras, recorrer a um método que implementa o fator autorregressivo e define uma banda de largura para cada variável a fim de distinguir quais são os componentes globais e locais, além de empregar novos termos regressores relevantes.

Referências

- AMARAL, F. J. G.; BACHA, C. J. C. Evolução do crédito rural no Brasil de 1969 a 2023. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 29, 2025.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma economia dos ecossistemas. **Revista EconomiA**, v. 12, n. 3, p. 573–594, 2011.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the Causes of Deforestation: Lessons from Economic Models. **The World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73-98, 1999.
- ASSUNÇÃO, J. M.; TABARELLI, M.; OLIVEIRA, V. B.; VIEIRA, I. C. Wildfires and the natural regeneration of a terra firme forest in the eastern Amazon region. **Biological Conservation**, v. 314, p. 111671, 2026.

BARROS, P. H. B. Displacement and spillover effects of soybean and sugarcane on Amazon deforestation: A spatial analysis of indirect land-use change in Brazil. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 20, n. 1, p. 79-97, 2026.

BCB. 2026. Crédito Rural. **Matriz de dados do crédito rural**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em 20 de jan. de 2026.

BEZERRA, F. D. S.; NASCIMENTO, C. A.; MAIA, A. G. Rural development and the expansion of non-agricultural activities in the Brazilian Amazon. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 4, p. e231355, 2021.

CALDEIRA, C.; PARRÉ, J. L. Diversificação agropecuária e desenvolvimento rural no bioma cerrado. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 344-359, 2020.

DALY, H.; FARLEY, J. **Ecological economics: principles and applications**. Washington, DC: Island Press, 2004.

FARIAS, E. S.; FIÚZA, A. L. C.; NAVARRO, Z. Entre a diversificação e a especialização: dinâmicas da mão de obra familiar em regiões de pobreza rural em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 63, p. e289647, 2025.

FARIA, W. R.; SILVA, F. M.; ALMEIDA, A. N.; BETARELLI JUNIOR, A. A. The relationship between rural credit policy and deforestation: evidence from Brazil. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 27, p. 231-263, 2025.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, 2021.

FERNANDES, P. G. A.; PARRÉ, J. L. The influence of rural credit on the conservation of the Amazon biome. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 20, n. 1, p. 56-78, 2026.

FOTHERINGHAM, A. S.; CRESPO, R.; YAO, J. Geographical and temporal weighted regression (GTWR). **Geographical Analysis**, v. 47, n. 4, p. 431-452, 2015.

IBGE. 2026. Estatísticas. **Downloads**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 de jan. de 2026.

GOLLINI, I.; LU, B.; CHARLTON, M.; BRUNSDON, C.; HARRIS, P. GWmodel: an R package for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. **Journal of statistical software**, v. 63, n.17, p. 1-50, 2015.

KUZNETS, S. Modern economic growth: findings and reflections. **The American Economic Review**, v. 63, n. 3, p. 247-258, 1973.

LEWIS, W. A. Economic Development with Unlimited Supplies of Labour. **Manchester School**, v. 22, n. 2, p. 139-191, 1954.

LU, B.; HARRIS, P.; CHARLTON, M.; BRUNSDON, C.; NAKAYA, T.; MURAKAMI, D. GWmodel: geographically-weighted models. Version 2.4-1. [S.l.]: CRAN, 2024. **Package ‘GWmodel’**.

HIRSCHMAN, A. O. **The strategy of economic development**. New Haven: Yale University Press, 1958.

HUANG, B.; WU, B.; BARRY, M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 24, n. 3, p. 383-401, 2010.

MAPBIOMAS. 2026. Estatísticas. **Uso e Cobertura da Terra**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em 20 de jan. de 2026.

PEROSA, B. B.; SILVA, R. B.; LEÃO, G. D. O.; CAMPOS, M. O. Low-Carbon Agriculture (ABC) Credit and Pasture Restoration in Minas Gerais, Brazil. **Sustainability**, v. 18, n. 2, p. 744, 2026.

SIEGEL, K. J.; MILLS-NOVOA, M.; KINNEBREW, E.; OCHOA-BRITO, J.; SHOFFNER, E. Understanding deforestation dynamics in Amazonian protected areas through land-use change models informed by conservation discourses. **Biological Conservation**, v. 313, 2026.

SOBREIRA, D. B.; TABOSA, F. J. S.; COSTA, E. M.; KHAN, A. S. Heterogeneous regional effects of rural credit on agricultural production in Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 4, 2024.

STIGLITZ, Joseph E. Credit markets and the control of capital. **Journal of Money, Credit and Banking**, Columbus, v. 17, n. 2, p. 133–152, maio, 1985.

TENCHINI, F. P.; FREITAS, C. O. Agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro: desenvolvimento regional sustentável e sua relação com o crédito via PRONAF. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 2, 2024.

TERRABRASILIS. 2026. Downloads. **Incremento no desmatamento**. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br>. Acesso em 20 de jan. de 2026.

TICKTIN, T. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1, p. 11-21, 2004.

ZHU, X. X.; WANG, S. W.; LI, Y. F.; ZHANG, Y. W.; SU, X. M.; ZHAO, X. T. Geographically and Temporally Weighted Regression in Assessing Dengue Fever Spread Factors in Yunnan Border Regions. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 37, n. 5, p. 511-520, 2024.