

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

ISABELA PASSONI BUCHER

**PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS IMPACTAM
A COBERTURA FLORESTAL? UMA AVALIAÇÃO DO
PROGRAMA REFLORESTAR**

Vitória
2025

ISABELA PASSONI BUCHER

**PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS IMPACTAM
A COBERTURA FLORESTAL? UMA AVALIAÇÃO DO
PROGRAMA REFLORESTAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia, do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Nunes de Lima Seixas

Vitória
2025

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

P289p Passoni Bucher, Isabela, 1998-
Pagamentos por Serviços Ambientais Impactam a Cobertura Florestal? Uma Avaliação do Programa Reflorestar / Isabela Passoni Bucher. - 2025.
53 p. : il.

Orientador: Renato Nunes de Lima Seixas.
Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas.

1. Pagamentos por Serviços Ambientais. 2. Cobertura Vegetal. 3. Políticas Públicas. 4. Diferenças em Diferenças. I. Nunes de Lima Seixas, Renato. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas. III. Título.

CDU: 330

ISABELA PASSONI BUCHER

**PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS IMPACTAM A
COBERTURA FLORESTAL? UMA AVALIAÇÃO DO PROGRAMA REFLORESTAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Vitória, 31 de janeiro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato Nunes de Lima Seixas
Universidade Federal do Espírito
Orientador

Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Giuberti
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Ariaster Baumgratz Chimeli
Universidade de São Paulo

*"Caminhante, não há caminho, faz-se caminho ao andar."
(Antonio Machado)*

Agradecimentos

Este trabalho é fruto de uma jornada de desenvolvimento pessoal e acadêmico, no qual os desafios ao longo do percurso se transformaram em importantes aprendizados e realizações.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e inspiração para enfrentar as adversidades e continuar em busca dos meus objetivos. A fé foi um pilar essencial em momentos desafiadores e de incerteza.

À minha família, por acreditarem nos meus sonhos e por estarem sempre ao meu lado. Em especial aos meus pais, Sheyla Passoni e Hildomar Bucher, por serem o alicerce em que me apoio. Obrigada por acreditarem no meu potencial, mesmo quando eu mesma duvidei, e por me lembrarem que os desafios se superam com paciência e coragem. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu parceiro, João Marcos, por estar comigo em cada etapa desta caminhada. Sua presença, seu apoio e suas palavras de encorajamento foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente.

Ao meu orientador, Renato Seixas, expresse minha mais profunda gratidão. A sua brilhante orientação, os desafios propostos e os planos traçados foram fundamentais para o crescimento deste trabalho e para meu amadurecimento como pesquisadora. Obrigada pela confiança, por se fazer presente, por incentivar minha autonomia e por me desafiar a buscar o melhor em cada etapa desta jornada.

Aos colegas de mestrado, agradeço pela amizade e apoio que foram fundamentais para que os desafios do dia a dia fossem superados com mais ternura. Aos amigos Amanda, Rafael, André, Bianca, Júlia e Ana Paula, meu sincero agradecimento. Cada um de vocês, à sua maneira, contribuiu para que cada conquista fosse celebrada com ainda mais alegria.

Agradeço também ao PPGeco/UFES, em especial à Liliana pelo apoio prestado, aos professores que contribuíram para o meu aprendizado ao longo do curso, e ao GEPP/UFES pelas discussões enriquecedoras.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pelo suporte financeiro que possibilitou minha dedicação exclusiva, sendo essencial para o desenvolvimento deste trabalho com excelência. Ao Pablo Jabor e ao Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), agradeço pela parceria e pelo acesso aos dados que tornaram este trabalho possível.

A todos, meu sincero e profundo agradecimento.

Resumo

Estudos sobre programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) têm expandido, porém persiste uma lacuna na literatura sobre avaliação de seus efeitos, especialmente no contexto brasileiro. Este trabalho contribui para preencher essa lacuna ao avaliar o programa Reflorestar, implementado pelo governo do estado do Espírito Santo, estimando seu impacto na cobertura florestal e no uso da terra. Utilizou-se dados do Cadastro Ambiental Rural e imagens de satélite, empregando os métodos de pareamento por distância de Mahalanobis e diferenças em diferenças, assim como estimadores duplamente robustos (Sant'Anna e Zhao, 2020) para estimar o efeito médio do tratamento sobre os tratados. Os resultados indicam que as propriedades participantes no programa Reflorestar tiveram aumento percentual significativo de área em categorias de cobertura vegetal como Mata (13,1%), Mata Nativa em Estágio Inicial (10,1%), e categorias de uso do solo como cultivos em geral (12,5%), plantação de banana (5,2%) e plantação de mamão (2,2%). Além disso, os resultados apontaram para uma redução de aproximadamente 13% de área destinada a pastagem. Este estudo enriquece o entendimento sobre os programas de PSA no Brasil, oferecendo uma análise criteriosa da avaliação de impacto sobre o programa Reflorestar, evidenciando efeitos positivos em determinadas categorias de uso do solo, principalmente às destinadas ao reflorestamento.

Palavras-chaves: Pagamentos por Serviços Ambientais; Cobertura Vegetal; Políticas Públicas; Diferenças em Diferenças.

Abstract

Studies on Payment for Environmental Services (PES) programs have expanded, yet a gap remains in the literature regarding their impact evaluation, especially in the Brazilian context. This paper aims to fill this gap by evaluating the Reforestar program, implemented by the government of the state of Espírito Santo, estimating its impact on forest cover and land use. Using data from the Rural Environmental Registry and satellite imagery, we applied Mahalanobis distance matching and difference-in-differences methods, as well as doubly robust estimators (Sant'Anna and Zhao, 2020) to estimate the average treatment effect on the treated. The results indicate that properties participating in the Reforestar program experienced a significant percentage increase in areas of vegetation cover categories such as Forest (13.1%) and Early Stage Native Forest (10.1%), and land use categories such as general crops (12.5%), banana plantations (5.2%), and papaya plantations (2.2%). Furthermore, the results pointed to a reduction of approximately 13% in areas allocated to pasture. This study enriches the understanding of PES programs in Brazil, offering a thorough analysis of the impact evaluation of the Reforestar program, highlighting positive effects in specific land use categories, particularly those aimed at reforestation.

Key-words: Payments for Environmental Services; Vegetation Cover; Public Policies; Differences in Differences.

Lista de ilustrações

- Figura 1 – Distribuição Geográfica das Propriedades Rurais no Espírito Santo . . . 25
- Figura 2 – Distribuição Geográfica do Grupo de Tratamento e do Grupo de Controle 26

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre os Programas de PSA	20
Tabela 2 – Estatísticas Descritivas	27
Tabela 3 – Balanceamento Antes do Pareamento por Distância de Mahalanobis . .	28
Tabela 4 – Balanceamento Após o Pareamento por Distância de Mahalanobis . . .	29
Tabela 5 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento	31
Tabela 6 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos	31
Tabela 7 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo	32
Tabela 8 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (2)	33
Tabela 9 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (2)	33
Tabela 10 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (2)	34
Tabela 11 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (3)	36
Tabela 12 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (3)	37
Tabela 13 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (3)	38
Tabela 14 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (4)	39
Tabela 15 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (4)	40
Tabela 16 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (4)	41
Tabela A1 – Balanceamento - Mahalanobis sem reposição	48
Tabela A2 – Balanceamento - Mahalanobis com reposição	49
Tabela A3 – Balanceamento - Logit sem Reposição	50
Tabela A4 – Balanceamento - Logit com Reposição	51
Tabela A5 – Balanceamento - Probit sem Reposição	52
Tabela A6 – Balanceamento - Probit com Reposição	53

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
3	PROGRAMA REFLORESTAR	18
3.1	COMPARAÇÃO ENTRE OS PROGRAMAS DE PSA	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	DADOS	24
5	RESULTADOS	30
5.1	MODELO SEM PAREAMENTO	30
5.2	MODELO PAREADO	32
5.3	MODELO DRDID	35
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS ESTIMADOS	39
6	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – TABELAS	48

1 INTRODUÇÃO

As florestas desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade e na preservação dos ecossistemas, fornecendo habitats naturais para uma ampla variedade de espécies e contribuindo para a estabilidade climática global (FEDROWITZ et al., 2014). Em áreas próximas a rios, as florestas são ainda mais relevantes, pois ajudam a proteger a qualidade da água, reduzir a erosão e os riscos de inundações, assegurando o equilíbrio dos recursos hídricos e a preservação da biodiversidade aquática (TAMBOSI et al., 2015). Além disso, elas atuam como importantes sumidouros de carbono, capturando e armazenando esse elemento na biomassa, o que ajuda a mitigar as emissões de gases de efeito estufa e a combater as mudanças climáticas (TRAPANI et al., 2014).

Entretanto, o uso insustentável da terra e o desmatamento têm levado à degradação dos ecossistemas florestais em várias regiões do mundo, colocando em risco a integridade ambiental e a biodiversidade (NEWBOLD et al., 2016). Nesse contexto, políticas de restauração e conservação das florestas, como Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), surgem como estratégias para promover a recuperação ambiental e incentivar práticas sustentáveis de uso do solo. O PSA consiste em um mecanismo financeiro que recompensa os proprietários rurais pela adoção de práticas que beneficiam o meio ambiente, como a conservação de florestas e a restauração de áreas degradadas (WUNDER; ENGEL; PAGIOLA, 2008).

Experiências de PSA, como os programas PINFOR e PINPEP na Guatemala, destacam a relevância do suporte técnico contínuo e do monitoramento para assegurar impactos sustentáveis ao longo do tempo, especialmente em contextos onde a pressão sobre os recursos naturais é elevada (PATRICK; BUTSIC; POTTS, 2023). Esses programas demonstram que a combinação de incentivos financeiros e assistência técnica pode fortalecer o engajamento dos participantes, promovendo práticas de conservação mais eficazes. Além disso, estudos como o de Kemigisha et al. (2023) reforçam a importância dos incentivos financeiros na redução do desmatamento, como observado em Uganda, onde o uso estratégico de compensações econômicas contribuiu para a preservação de áreas florestais e para a mitigação da degradação ambiental.

Apesar da expansão global dos esquemas de PSA, as avaliações empíricas desses programas ainda são limitadas, especialmente no Brasil. Até a finalização deste estudo, apenas uma análise causal havia sido realizada para um programa brasileiro de PSA: a avaliação de Cisneros et al. (2022) sobre o programa Bolsa Floresta. Diante disso, este trabalho avança ao investigar os impactos do programa Reflorestar em diferentes categorias de cobertura vegetal e uso do solo, sendo o primeiro a avaliar um programa de

PSA fora do contexto amazônico. Ao focar no estado do Espírito Santo, onde predomina-se o bioma da Mata Atlântica, a pesquisa contribui para a compreensão dos efeitos dessa política em um cenário com estrutura fundiária, dinâmica de uso do solo e características socioeconômicas distintas das abordadas pela maioria dos estudos sobre PSA no Brasil, que se concentram na Amazônia.

O programa Reflorestar, desenvolvido pelo governo do Espírito Santo, foi criado com o objetivo de restaurar a cobertura florestal e promover o uso sustentável da terra, baseado na conservação da vegetação nativa. Por meio do PSA, o programa oferece compensações financeiras aos proprietários rurais que adotam práticas que melhoram o ciclo hidrológico e a qualidade ambiental. Para avaliar o programa, foi utilizada uma abordagem de diferenças em diferenças, combinada com pareamento pela distância de Mahalanobis com reposição, abrangendo 1.238 propriedades participantes e 47.255 não participantes, distribuídas em 78 municípios entre 2008 e 2020. Os resultados mostram um aumento de 13,1% na cobertura de floresta nativa e uma redução de 12,9% em áreas de pastagem, corroborando que PSA aliados ao monitoramento e à assistência técnica podem alcançar efeitos mais consistentes.

Vale ressaltar, ainda, que a análise em nível de propriedade rural, utilizada neste estudo, tende a evitar problemas de correlação espacial, encontrados em estudos anteriores que utilizam células de grades, por exemplo, para definir as unidades de análise. Ao adotar regiões como grupos de tratamento e controle, essa abordagem pode gerar maior dependência espacial entre as observações, comprometendo a independência das unidades e podendo inflar artificialmente os efeitos estimados. Em contrapartida, ao definir propriedades individuais como unidades de análise, este estudo minimiza esse problema, garantindo que as comparações entre os grupos tratados e de controle sejam mais precisas.

A seguir, a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre PSA, seguida pela descrição do programa Reflorestar na seção 3. A metodologia e os dados utilizados são detalhados na seção 4. Os resultados são discutidos na seção 5, e a seção 6 apresenta as considerações finais, abordando as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com a literatura existente, entende-se que PSA é um sistema de compensação, onde os usuários recebem um valor monetário em troca de um serviço ambiental pré-estabelecido. Segundo Wunder, Engel e Pagiola (2008), o princípio do PSA se resume em uma transação voluntária entre um comprador e um fornecedor de Serviços Ambientais (SA). Este serviço, por sua vez, é previamente determinado e o acordo só é de fato concretizado se o provedor certificar a veracidade da prestação de SA pelo usuário. Em outras palavras, é uma ferramenta que recompensa financeiramente indivíduos que adotam práticas de conservação e proteção ambiental, servindo como incentivo para preservar ecossistemas, promover a biodiversidade, proteger recursos hídricos, reduzir o desmatamento e mitigar as mudanças climáticas (GALLEMORE et al., 2023).

Para Muradian et al. (2010), o PSA é um mecanismo que corrige falhas de mercado associadas ao uso inadequado de recursos naturais, proporcionando incentivos financeiros para a adoção de práticas sustentáveis. Esse entendimento é ecoado por Gómez-Baggethun e Ruiz-Pérez (2011), que destacam o papel do PSA na criação de mercados para serviços ecossistêmicos, especialmente em contextos em que os mecanismos tradicionais de mercado falham em valorizar adequadamente esses serviços. Dessa forma, têm-se como expectativa a colaboração acerca da preservação do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável, desempenhando um papel significativo na geração de renda para aqueles que se beneficiam do programa. Wunder, Engel e Pagiola (2008) acrescentam, ainda, que o mecanismo de PSA pode desempenhar um papel eficiente como ferramenta de suporte na gestão ambiental, quando incorporado como instrumento de política pública.

A legislação que regula o PSA varia conforme o contexto de cada país e região. No Brasil, a Lei 14.119/2021, representa um marco importante, pois instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, estabelecendo diretrizes para contratos de PSA e regulamentando quais serviços ambientais são elegíveis para pagamento. A legislação também prevê diferentes formas de financiamento, como fundos públicos e mecanismos de mercado, que asseguram a continuidade dos programas de PSA (BRASIL, 2021).

Esse arcabouço legal vem complementar o Novo Código Florestal, Lei 12.651/2012, que já havia introduzido instrumentos econômicos de incentivo à preservação de áreas nativas, especialmente em propriedades privadas (GODECKE; HUPFFER; CHAVES, 2014). Em outros países, como México e Costa Rica, marcos regulatórios semelhantes foram estabelecidos para promover o desenvolvimento de programas nacionais de PSA, criando uma base jurídica que viabiliza a compensação financeira pela prestação de serviços ambientais

(EZZINE-DE-BLAS et al., 2016).

No contexto brasileiro, dois programas se destacam como pioneiros em relação a utilização de PSA como forma de compensação pela prestação de serviços ambientais: o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) e o Programa Bolsa Floresta (PBF). O Proambiente é um programa federal e surgiu em 2006 a partir de uma demanda de crédito rural que absorvesse o cuidado com o meio ambiente, mas que também fortalecesse a agricultura familiar da Amazônia (OLIVEIRA; ALTAFIN, 2008). Ele tem como objetivo a sustentabilidade da produção rural através de PSA, além de atingir metas como o sequestro de carbono, a diminuição do desmatamento, a restauração das funções hídricas e a preservação da biodiversidade. Oliveira e Altafin (2008) apontaram dificuldades na implementação do mesmo visto que o programa, ao tentar abranger muitas ações, tornou-se oneroso e com alta complexidade de coordenação.

Já o PBF é um programa do estado do Amazonas e surgiu em 2007. Tem como objetivo compensar a população tradicional da região, através de PSA, em troca da conservação da floresta amazônica. Dessa forma, possui mais de 35 mil pessoas atendidas em 15 unidades de conservação local, abrangendo uma área de 10 milhões de hectares. Viana et al. (2012) realizaram uma pesquisa de opinião com as famílias participantes do programa com a finalidade de captar o impacto do PBF. Foram entrevistadas 463 famílias, representando 36,4% do total de participantes. Ademais, analisaram as taxas de desmatamento, com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O resultado obtido é contraditório, uma vez que a percepção geral das famílias confirma que o programa ajuda a evitar o desmatamento, em contrapartida a análise dos dados realizada pelos autores mostra que não há correlação estatística entre a eficácia do programa e a redução dessas taxas.

É importante ressaltar que as avaliações conduzidas por Oliveira e Altafin (2008) e por Viana et al. (2012) sofrem de limitações metodológicas, pois ambos os estudos não utilizam métodos apropriados de avaliação de impacto. A análise de Oliveira e Altafin (2008) sobre o Proambiente carece de técnicas econométricas que são essenciais para fornecer uma estimativa causal dos efeitos do programa, ao se basear principalmente em descrições qualitativas e análises de implementação. De maneira similar, o estudo de Viana et al. (2012) sobre o PBF, apesar de incluir uma pesquisa de opinião e uma análise descritiva das taxas de desmatamento, também falha em empregar métodos contrafactuais adequados. Essa ausência de abordagens quantitativas robustas configura-se como uma lacuna importante na literatura nacional, que começou a ser suprida pelo estudo pioneiro de Cisneros et al. (2022).

Utilizando pareamento com a métrica de distância de Mahalanobis e modelos de efeitos fixos, os autores Cisneros et al. (2022) analisaram os efeitos do PBF para avaliar o impacto do programa em 15 unidades de conservação participantes, comparando-as a

33 áreas de controle. O estudo utilizou dados do INPE (2004-2015) sobre desmatamento, degradação florestal e incêndios, com dados espaciais organizados em células de 5x5 km dentro das reservas. Os resultados mostraram que o PBF reduziu o desmatamento em 10% e a degradação florestal em 11%, com maior impacto em áreas de maior pressão por atividades agrícolas, enquanto a seleção de áreas com menor pressão inicial de desmatamento limitou os impactos adicionais do programa.

Expandindo o escopo da análise para além das fronteiras nacionais, foram selecionados três artigos que avaliaram o impacto de programas que utilizam a política de PSA. A estratégia de seleção baseou-se em três critérios principais: (i) artigos recentes, publicados a partir de 2023, garantindo que a análise esteja alinhada com as discussões e abordagens metodológicas mais atuais; (ii) trabalhos que analisam programas similares ao programa Reflorestar, possibilitando uma comparação mais relevante entre diferentes experiências internacionais de PSA; e (iii) estudos que empregam métodos de avaliação de políticas públicas, com destaque para técnicas como pareamento (matching) e Diferenças em Diferenças (DID), amplamente utilizadas na literatura para medir efeitos causais. Dentre os artigos selecionados, Patrick, Butsic e Potts (2023) avaliaram projetos de PSA na Guatemala, financiados pelos programas de incentivo PINFOR (1996) e PINPEP (2006); Segura-Millán e Perez-Verdin (2023) investigaram o programa PES, lançado em 2003 no México; e Kemigisha et al. (2023) analisaram o programa de PES de Budongo-Bugoma, lançado em 2011 no oeste de Uganda.

Patrick, Butsic e Potts (2023) avaliaram o impacto de mais de 16.000 projetos individuais de PSA na Guatemala. Esses projetos foram financiados por dois programas de incentivo: o Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) que foi estabelecido pela lei florestal de 1996 e incentivou os proprietários de terras a melhorarem a cobertura florestal e impulsionar a indústria madeireira no país; e o Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequenas (PINPEP) que foi lançado pelo banco de desenvolvimento holandês em 2006 e financiado pelo governo guatemalteco em 2010, impulsionado pela organização de base de grupos indígenas e pequenos agricultores (PATRICK; BUTSIC; POTTS, 2023).

Usando métodos de controle sintético, os autores estimaram o impacto da inscrição nos programas PINPEP e PINFOR em relação a variação percentual na cobertura florestal e na altura da floresta de 2000 a 2020, e na perda florestal nos anos após a inscrição. Os resultados obtidos indicam que a cobertura florestal aumentou em ambos os programas em relação ao grupo de controle, com aumentos de 8,7% para o PINFOR e 3,2% para o PINPEP. Sobre a altura da floresta, registou-se um aumento de 5,7% para o PINFOR em comparação com o controle, enquanto o PINPEP não teve um efeito significativo. Para a análise de perda florestal obtiveram resultados divergentes, com os locais do PINFOR experimentando um aumento de 1,6% na perda percentual de cobertura florestal e os locais

do PINPEP registrando uma queda de 3,4%. Dessa forma, os autores concluíram que os programas proporcionaram benefícios reais para a cobertura florestal do país (PATRICK; BUTSIC; POTTS, 2023).

Segura-Millán e Perez-Verdin (2023) analisaram o programa PSA no México, lançado em 2003. Este programa concede subsídios econômicos aos proprietários de terras para apoiar a proteção dos recursos florestais. Por meio de uma análise espacial, foi estimado o índice de vegetação e o impacto do programa nas comunidades e em seus recursos. Utilizando o método de Diferenças em Diferenças para testar as disparidades na cobertura vegetal e no uso da terra, medidos por sensoriamento remoto, entre as comunidades beneficiárias (ejidos) e não beneficiárias do PSA, os autores concluíram que as mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra não foram significativas (SEGURA-MILLÁN; PEREZ-VERDIN, 2023).

Por sua vez, Kemigisha et al. (2023) realizaram uma análise sobre o programa de PSA de Budongo-Bugoma, no oeste de Uganda, lançado em 2011. Tem como objetivo conservar mais de 50.000 hectares de floresta natural, assegurando e restaurando a conectividade do corredor entre as reservas florestais de Bugoma e Budongo. Aplicando o método de Diferenças em Diferenças, os autores buscaram avaliar o impacto do programa sobre a taxa de desmatamento. Verificaram que o PSA teve um impacto negativo inicial sobre a taxa de desmatamento; entretanto, essa relação desapareceu após quatro anos do término do programa. Dessa forma, os autores descobriram que, embora o programa tenha inicialmente atingido seu objetivo, os beneficiários abandonaram as práticas de sustentabilidade ambiental após o fim dos pagamentos. Portanto, concluíram que confiar exclusivamente em pagamentos monetários como instrumentos de política pública pode ser insuficiente para garantir a proteção florestal de longo prazo (KEMIGISHA et al., 2023).

Em síntese, a análise da literatura revela uma divergência significativa nos resultados dos programas que utilizam PSA como instrumento de políticas socioambientais. A ausência de consenso dificulta a formulação de conclusões claras sobre a eficácia dessa ferramenta em gerar benefícios ambientais. No Brasil, os estudos sobre os efeitos de programas de PSA ainda são limitados e frequentemente utilizam metodologias inadequadas para avaliar seus impactos. Diante disso, até o momento da elaboração desta pesquisa e para o conhecimento dos autores, este estudo representa a segunda análise causal de um programa de PSA no Brasil, sucedendo a avaliação de Cisneros et al. (2022) sobre o Programa Bolsa Floresta, sendo também o primeiro estudo a avaliar um programa estadual de PSA implementado fora da região amazônica.

3 PROGRAMA REFLORESTAR

O Programa Estadual de Aumento da Cobertura Florestal, conhecido como programa Reflorestar, foi lançado em 05 de junho de 2011 e é coordenado pela SEAMA. Seu propósito é estimular a restauração do ciclo hidrológico, através da conservação e regeneração da área florestal, enquanto proporciona oportunidades econômicas para os produtores rurais. A teoria subjacente ao programa Reflorestar baseia-se na premissa de que a recuperação da cobertura florestal e a gestão sustentável dos recursos naturais são cruciais para a mitigação das mudanças climáticas e a promoção do desenvolvimento sustentável. A restauração do ciclo hidrológico é um objetivo central, com a recuperação da floresta desempenhando um papel fundamental na melhoria da infiltração de água, na redução do risco de desabastecimento hídrico e na conservação da biodiversidade.

Com essa finalidade, o programa conta com duas abordagens de reflorestamento: a Restauração Ativa, onde são adotadas práticas de recuperação florestal através do plantio de mata nativa; e a Restauração Passiva, onde a regeneração da área florestal ocorre de forma natural, adotando práticas de fiscalização e monitoramento. Em relação às estratégias de ação para a Restauração Ativa, o programa utiliza a adoção de práticas de manejo sustentável do solo por meio de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), instituído pela lei Estadual nº 9.864/2012 e regulamentado pelo Decreto nº 3.182-R/2012. Essa lei permitiu que os produtores rurais recebessem recursos para aquisição de insumos necessários à recuperação da floresta, como mudas de espécies florestais, materiais para cercamento e adubo, superando assim um dos principais obstáculos para a restauração. Os contratos de PSA têm uma duração de cinco anos e são pagos anualmente, com possibilidade de renovação. Os valores pagos variam de acordo com a modalidade de restauração e são estabelecidos com base no Valor de Referência do Tesouro Estadual (VRTE).

Dentre as modalidades, destaca-se a “Floresta em Pé”, que incentiva a conservação de áreas com cobertura florestal nativa já existente; a “Restauração por meio da Condução da Regeneração Natural”, que consiste na eliminação de fatores de degradação para permitir a regeneração natural da vegetação; a “Restauração por meio do Plantio de Essências Nativas”, que visa recuperar áreas degradadas com o plantio de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica; o “Sistema Agroflorestal”, que integra espécies lenhosas perenes com culturas agrícolas, promovendo a diversificação da produção e a conservação dos recursos naturais; o “Sistema Silvipastoril”, que combina árvores com pastagens, contribuindo para a conservação do solo e microbacias, além de oferecer múltiplas formas de produção; e a “Floresta Manejada”, que permite o manejo sustentável de árvores para exploração de recursos madeiráveis e não madeiráveis.

Além do suporte financeiro, o programa oferece assistência técnica aos produtores rurais por meio de profissionais credenciados que elaboram projetos técnicos, fornecem orientações relacionadas ao plantio e monitoram as áreas periodicamente. Esses profissionais são remunerados pelo programa, garantindo a qualidade e eficácia das ações de restauração. A participação no programa Reflorestar se dá de forma voluntária, sendo aberto para proprietários de áreas rurais do estado do Espírito Santo e outros facilitadores que contribuam para a promoção de serviços ambientais, sujeita à disponibilidade de recursos orçamentários. Até o ano de 2019, o programa Reflorestar contava com um total de 3.795 contratos vigentes, envolvendo produtores rurais em 74 dos 78 municípios do estado, com exceção de Guarapari, Marataízes, Piúma e Vitória, e com um valor total contratado por meio dos contratos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) de R\$ 73,3 milhões. Segundo informações do Portal do Governo do Espírito Santo, no início de 2024 o programa registrou mais de 4.329 contratos iniciados com pequenos proprietários e com liberação total de R\$ 98,9 milhões para projetos.

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS PROGRAMAS DE PSA

Para complementar a análise, realizou-se uma comparação entre o programa Reflorestar e os demais programas de PSA mencionados neste estudo. A Tabela 1 sintetiza as principais semelhanças e diferenças entre eles, tanto em termos de desenho do programa quanto em termos de normas e regras, formas de pagamentos, assistência técnica e abordagem de reflorestamento.

Pode-se observar que o programa Reflorestar se destaca por sua abordagem, que combina restauração ativa e passiva, promovendo uma estratégia diversificada de conservação florestal. Em contraste, os programas brasileiros Proambiente (2006) e Bolsa Floresta (2007) focam na sustentabilidade da produção rural e na conservação por meio do engajamento comunitário e manejo sustentável. No entanto, ambos enfrentaram desafios significativos na implementação eficaz da assistência técnica, principalmente, devido aos altos custos envolvidos. O Reflorestar, por outro lado, assegura suporte contínuo e remunerado por profissionais credenciados, garantindo maior eficácia nas ações de restauração.

Os programas guatemaltecos PINFOR (1996) e PINPEP (2006) centram-se no plantio de árvores de alto valor e no manejo florestal natural, oferecendo pagamentos baseados em hectares restaurados, o que difere do Reflorestar, pois o pagamento neste programa varia de acordo com a modalidade de restauração escolhida pelo proprietário rural. Já a assistência técnica é fornecida pelo Instituto Nacional de Bosques (INAB), que assegura suporte especializado para os proprietários de terras, similar ao oferecido pelo Reflorestar.

Tabela 1 – Comparação entre os Programas de PSA

Programa	Objetivo	Abordagem de Reflorestamento	Pagamento PSA	Assistência Técnica	Escopo de Aplicação
Reflorestar (2011)	Restaurar e conservar florestas e oferecer oportunidades econômicas	Restauração ativa e passiva	Anual, conforme modalidade de restauração	Fornecimento de assistência técnica contínua por profissionais credenciados	Proprietários rurais no ES
Proambiente (2006)	Sustentabilidade da produção rural e preservação ambiental na Amazônia	Técnicas de cultivo e manejo sustentável, recuperação de áreas alteradas	Anual, conforme atividades de conservação realizadas	Deficiente, dificultando a implementação	Agricultura familiar na Amazônia
Programa Bolsa Floresta (2007)	Compensar populações tradicionais pela conservação da floresta amazônica	Conservação, produção sustentável, e educação ambiental	Anual, conforme atividades de conservação realizadas	Deficiente, dificultando a implementação	Populações tradicionais da floresta amazônica
PINFOR (1996)	Melhorar cobertura florestal e indústria madeireira	Plantio de árvores de alto valor e manejo florestal natural	Anual, conforme hectares de terra restaurada	Fornecimento de expertise e infraestrutura através do INAB	Pequenos e grandes proprietários na Guatemala
PINPEP (2006)	Agroflorestamento e prevenção de incêndios para pequenos proprietários	Agrofloresta, manejo de floresta natural	Anual, conforme hectares de terra restaurada	Fornecimento de expertise e infraestrutura através do INAB	Pequenos proprietários na Guatemala
PES - México (2003)	Proteger recursos florestais	Subsídios para conservação florestal	Anual, conforme atividades de conservação	Fornecimento limitado	Pequenos e médios proprietários no México
PES Budongo-Bugoma (2011)	Conservar corredores florestais	Acordos de conservação florestal	Anual, conforme resultados de conservação	Fornecimento limitado e falta de continuidade pós-programa	Populações locais no oeste de Uganda

Fonte: Elaboração Própria.

Os programas de PSA no México (2003) e Uganda (2011) oferecem subsídios econômicos e exigem compromissos de conservação rigorosos, mas enfrentam desafios na continuidade do suporte técnico, limitando a sustentabilidade das práticas de conservação a longo prazo. Em termos de estrutura de pagamento, todos os programas realizam pagamentos anuais, mas utilizam critérios variados. Alguns se baseiam nas atividades de conservação realizadas, enquanto outros focam na área restaurada. A forma de cálculo dos pagamentos também varia entre os programas, refletindo as diferenças nas abordagens de incentivo e nos objetivos específicos de cada iniciativa de conservação.

4 METODOLOGIA

A abordagem mais eficaz para avaliar o impacto de uma política pública seria encontrar um “clone perfeito”, para poder comparar o mesmo objeto de estudo em ambas as situações: uma em que tivesse participado do programa (objeto tratado) e outra em que não tivesse participado do programa (objeto não tratado) (GERTLER et al., 2018). Nessa situação ideal, seria suficiente calcular a diferença na variável de interesse entre essas duas condições para determinar o impacto da intervenção. Entretanto, sabe-se que na realidade é impossível identificar clones perfeitos.

Uma forma de superar essa dificuldade é abordar o problema sob a perspectiva do arcabouço de resultados potenciais. Este representa um conceito essencial na inferência causal e na análise contrafactual, oferecendo uma abordagem sistemática para expressar e examinar relações causais (ANGRIST; PISCHKE, 2009). O arcabouço de resultados potenciais propõe a seguinte consideração: seja Y a variável de resultado, cada indivíduo i assume um par de resultados potenciais $Y_i(0)$ e $Y_i(1)$, representando, respectivamente, potencial valor caso não receba o tratamento e o valor caso o indivíduo receba o tratamento. Dessa forma, se fosse possível observar o indivíduo i em ambas as situações, a diferença $\beta_i = Y_i(1) - Y_i(0)$ representaria o impacto causal da intervenção para o indivíduo.

É possível especificar cada resultado potencial através das seguintes equações:

$$Y_i(0) = \alpha + \epsilon_i \quad (4.1)$$

$$Y_i(1) = \alpha + \beta_i + \epsilon_i \quad (4.2)$$

onde α representa o intercepto e ϵ_i representa o componente não observável que influencia os resultados potenciais do indivíduo i . Definindo a variável T_i como um indicador de participação $T_i = 1$ ou não participação $T_i = 0$ no programa, pode-se expressar o resultado efetivamente observado para o indivíduo i pela equação:

$$Y_i = T_i Y_i(1) + (1 - T_i) Y_i(0) = Y_i(0) + T_i (Y_i(1) - Y_i(0)) \quad (4.3)$$

Além disso, substituindo as equações 4.1 e 4.2 para cada resultado potencial na equação 4.3, obtém-se:

$$Y_i = \alpha + \beta_i T_i + \epsilon_i \quad (4.4)$$

Para estimar esse modelo, assume-se a hipótese de homogeneidade no efeito de tratamento, ou seja, que o programa possui a mesma magnitude de impacto para todos

os indivíduos, i.e., $\beta_i = \beta$. A principal dificuldade em estimar o impacto do programa por meio desse modelo econométrico reside na provável correlação existente entre a variável de participação no programa T_i e a parte não observável ϵ_i . Esse problema é conhecido como viés de seleção e está atrelado à não aleatoriedade na escolha de participação no programa pelos indivíduos (FOGUEL, 2017).

Uma característica essencial dos programas de PSA é a seleção dos participantes por meio de adesão voluntária, o que se mantém verdadeiro no caso do programa Reflorestar. Nessa lógica, de acordo com os estudos existentes, os esquemas de PSA despertam maior interesse entre os proprietários rurais que já adotam práticas voltadas à preservação ou mesmo ao reflorestamento em suas atividades diárias, em detrimento de proprietários que não compartilham dessa preocupação (JACK; JAYACHANDRAN, 2019). Além disso, é possível que esses programas também atraiam proprietários que, por razões não relacionadas à sustentabilidade, optariam por manter suas propriedades sem uso produtivo.

Um caso ilustrativo são os proprietários que apresentam limitações em termos de conhecimento técnico relacionado à agricultura, que podem identificar nos esquemas de PSA uma alternativa para geração de renda, sem a necessidade de grandes investimentos ou mudanças na gestão de suas propriedades. Assim, a mera comparação entre aqueles que participam e aqueles que não participam resulta em uma avaliação viesada do impacto do programa. Os dois grupos apresentam diferenças em seus níveis de cobertura florestal não apenas devido aos efeitos do programa, mas também em relação ao que teriam feito com suas florestas na ausência dele, resultando em um problema de viés de seleção (JACK; JAYACHANDRAN, 2019).

Para corrigir esse problema, foram adotadas duas estratégias empíricas de identificação: o método de Pareamento por Distância de Mahalanobis (MDM) e o método de Diferenças em Diferenças (DID). O primeiro propõe selecionar propriedades que não participam do programa X_i semelhantes às propriedades que participam do programa X_j com base em suas características observáveis. Esse método, proposto por Mahalanobis em 1963, utiliza um vetor multivariado de covariáveis e uma matriz de covariâncias, representada pela letra S na equação 4.5, para calcular a distância entre X_i e X_j (KING et al., 2011).

$$M(X_i, X_j) = \sqrt{(X_i - X_j)^T S^{-1} (X_i - X_j)} \quad (4.5)$$

Assim, o pareamento por distância de Mahalanobis permite associar propriedades participantes e não participantes com base em características observáveis similares no período pré-tratamento, minimizando vieses decorrentes de diferenças iniciais. O método com reposição foi escolhido por apresentar o melhor balanceamento global das covariáveis entre os grupos de tratamento e controle, garantindo maior comparabilidade entre as

unidades analisadas, mesmo que algumas variáveis previamente balanceadas tenham se desbalanceado. Conforme destacado por Ho et al. (2007), o objetivo do pareamento não se resume em apenas equilibrar variáveis individuais isoladamente, mas sim minimizar a dependência do modelo e otimizar a correspondência multivariada entre os grupos, reduzindo o viés de seleção e fortalecendo a validade causal das estimativas.

Ao comparar os resultados dos diferentes métodos testados¹ (Mahalanobis sem reposição, Logit sem reposição, Logit com reposição, Probit sem reposição e Probit com reposição), observou-se que todos apresentaram desequilíbrios estatisticamente significativos em variáveis-chave, indicando uma correspondência menos precisa entre unidades tratadas e controles. Em contrapartida, o pareamento por Mahalanobis com reposição demonstrou maior capacidade de reduzir esses desequilíbrios, otimizando a correspondência global entre as unidades e, assim, Minimizando o viés de seleção de maneira mais eficiente.

De forma complementar, o método de Diferenças em Diferenças compara as mudanças ao longo do tempo entre as propriedades beneficiárias e as propriedades não beneficiárias, atribuindo as diferenças observadas ao programa. Ao combinar os métodos MDM e DID, é possível mitigar a influência de fatores não observáveis que poderiam afetar tanto a decisão de participar do programa quanto os resultados potenciais. Estas abordagens tornam possível controlar tanto os efeitos observáveis quanto os não observáveis, possibilitando uma avaliação mais precisa do impacto do programa Reflorestar sobre a cobertura florestal e o uso da terra nas propriedades rurais participantes, em comparação com as não participantes. A formulação econométrica associada a essa abordagem pode ser articulada da seguinte maneira:

$$Y_{it} = \alpha + \gamma D_i + \lambda t + \beta(D_i \times t) + \epsilon_{it} \quad (4.6)$$

Nessa formulação, D_i é a variável indicadora de participação no programa, e t é uma variável indicadora do período de tempo antes ($t = 0$) e depois ($t = 1$) da implementação do programa. Sob a hipótese de evolução paralela da variável dependente y_{it} entre os grupos de propriedades participantes e não participantes no programa, o coeficiente β , associado à interação $D_i \times t$, identifica o efeito causal do programa sobre a variável dependente (ANGRIST; PISCHKE, 2009). Nos modelos estimados, foi utilizada a forma funcional log-linear, de maneira que $100 \times \beta$ representa o efeito percentual da participação no programa sobre a variável dependente (WOOLDRIDGE, 2023).

Embora a combinação dos métodos MDM e DID permita relaxar algumas hipóteses, ela não elimina completamente todas as limitações. A principal dificuldade se mostra na validação da hipótese de tendências paralelas. Para que ela seja válida, é essencial que

¹As tabelas com os resultados dos demais métodos de pareamento testados estão disponíveis no apêndice para consulta.

a única diferença sistemática entre os grupos de tratamento e controle seja a aplicação do tratamento em si, e não a outras diferenças pré-existentes entre os grupos. Apesar dessa hipótese ser fundamentalmente não testável, pois não é possível observar como o grupo tratado teria evoluído sem o tratamento, uma maneira comum de avaliar sua plausibilidade é verificar se as tendências dos resultados pré-tratamento são paralelas entre os grupos de tratamento e controle. Idealmente, é preciso dispor de informações referentes a mais de um período pré-tratamento, o que representa um desafio neste estudo, visto que se têm disponível apenas informações para um único recorte temporal pré-tratamento.

Dessa forma, optou-se por incluir uma análise baseada em estimadores duplamente robustos para estimar o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT). Desenvolvido por Sant'Anna e Zhao (2020), esse método aprimora a estratégia de Diferenças em Diferenças (DID) ao reduzir a sensibilidade da estimação a erros na especificação do modelo. Para isso, combina duas abordagens: o *score* de propensão, que ajusta a probabilidade da propriedade rural receber o tratamento, e a regressão de resultados, que modela a evolução esperada das propriedades ao longo do tempo. Sua principal vantagem é garantir consistência estatística mesmo que apenas um desses componentes esteja corretamente especificado, aumentando a robustez da inferência causal. Dessa forma, o método de Diferenças em Diferenças Duplamente Robusto (DRDID) representa um avanço metodológico ao melhorar a precisão das estimativas e oferecer maior segurança analítica em cenários onde há incerteza sobre a especificação do modelo, desde que os grupos sejam comparáveis através das informações disponíveis.

4.1 DADOS

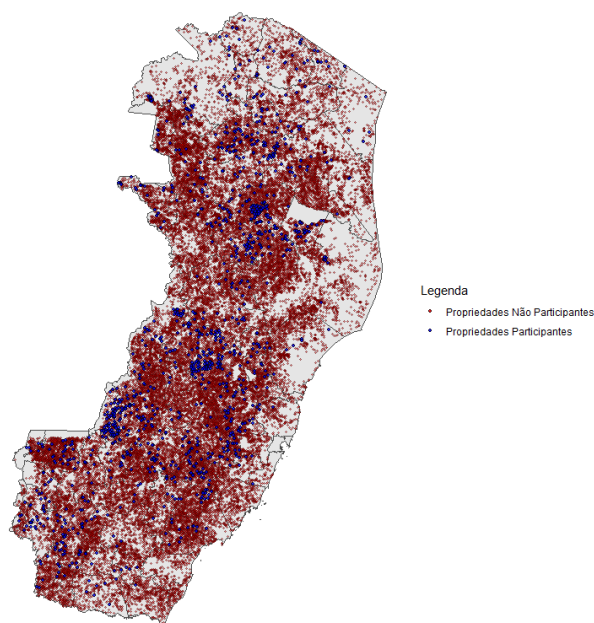
Os dados utilizados foram fornecidos pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e combinam: informações administrativas do programa Reflorestar, fornecidas pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), mapeamento de propriedades rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e imagens de satélite provenientes do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) contendo mapeamento de diferentes categorias de uso do solo no estado do Espírito Santo referentes aos anos de 2008, 2012 e 2020.

O banco de dados inicial consiste em um total de 57.072 propriedades rurais com registro e mapeadas no CAR no ano de 2018, sendo 2.045 propriedades participantes do programa e 55.027 propriedades não participantes. As propriedades participantes do programa Reflorestar foram identificadas nesse banco de dados por meio da localização georreferenciada fornecida pela SEAMA ao IJSN. As informações referentes a características e uso do solo das propriedades rurais foram produzidas pela sobreposição do mapeamento de propriedades do CAR e do banco de imagens do estado do Espírito Santo

do GEOBASES para os anos de 2008, 2012 e 2020.

Assim, foi possível construir um banco de dados a nível de propriedade rural com informações referentes a 7 características das propriedades e a 25 categorias de uso do solo. Após ajustes e exclusão de observações faltantes, o banco de dados final é composto por 48.493 propriedades das quais 1.238 participam do programa e 47.255 não participam, com informações para os anos de 2008 (antes do programa) e 2020 (após o programa). A Figura 1 ilustra a distribuição geográfica das propriedades no estado.

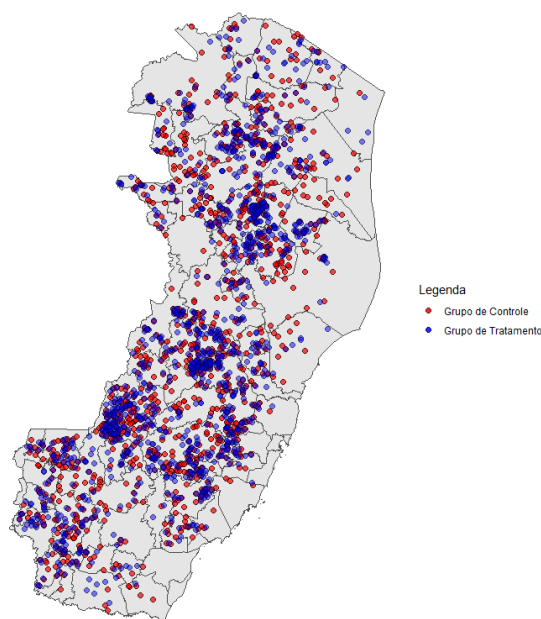
Figura 1 – Distribuição Geográfica das Propriedades Rurais no Espírito Santo



Fonte: Elaboração Própria.

Para cada participante selecionado, atribuiu-se um controle proveniente do CAR. Os controles foram selecionados utilizando o método de pareamento por distância de Mahalanobis (MDM) com reposição, com base em suas características observáveis, sendo elas: tamanho da propriedade (ha); uso total do solo da propriedade (ha); distância até a rodovia mais próxima (km); distância da sede do município (km); presença de trecho de drenagem (córrego, ribeirão ou rio) na propriedade; altitude média (m); percentual da propriedade em área de conservação; descrição do clima; tipo de solo predominante; percentual do uso do solo em 25 diferentes classes, entre outras. Após o processo de pareamento, a amostra resultante incluiu 1.238 propriedades pertencentes ao grupo de tratamento e 1.186 ao grupo de controle, distribuídas geograficamente conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição Geográfica do Grupo de Tratamento e do Grupo de Controle



Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 2 apresenta estatísticas descritivas de diversas variáveis relacionadas às características das propriedades rurais, com um total de 96.986 observações. As Tabelas 3 e 4, por sua vez, detalham o balanceamento de características e da cobertura vegetal das propriedades antes e após o pareamento respectivamente. Na amostra inicial, observa-se que algumas características das propriedades, bem como o uso do solo possuem diferenças estatisticamente significativas. Após o pareamento, nota-se que as variáveis estão balanceadas entre os dois grupos de propriedades. Esse resultado indica que o problema de viés de seleção dos participantes do programa pode estar atenuado e que a comparação entre tratados e não tratados na amostra pareada é mais próxima de uma relação causal.

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas

Variáveis	N	Média	Desvio Pa- drão
Tratamento	96.986	0,03	0,16
Área da Propriedade (ha)	96.986	47,40	334,02
Usos do solo total (ha)	96.986	45,18	377,71
Distância (km) estrada	96.986	2,13	1,94
Distância (km) sede municipal	96.986	10,63	5,53
Trecho de drenagem na propriedade (m)	96.986	702,39	3.732,38
Altitude média (m)	96.986	405,65	318,28
% propriedade em Área de Conservação	96.986	0,67	7,01
Mata Nativa (%)	96.986	15,02	24,87
Macega (%)	96.986	7,38	16,53
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	96.986	9,50	18,35
Brejo (%)	96.986	1,98	9,83
Afloramento Rochoso (%)	96.986	3,30	11,38
Solo Exposto (%)	96.986	3,33	11,83
Massa D'Água (%)	96.986	1,56	8,03
Extração Mineração (%)	96.986	0,16	2,66
Campo Rupestre/Altitude (%)	96.986	0,06	1,32
Pastagem (%)	96.986	24,13	32,16
Restinga (%)	96.986	0,05	1,71
Área Edificada (%)	96.986	0,45	5,06
Mangue (%)	96.986	0,02	1,00
Outros (%)	96.986	6,39	16,72
Abacaxi (%)	96.986	0,04	1,71
Banana (%)	96.986	0,81	6,26
Café (%)	96.986	14,21	24,29
Cana-de-açúcar (%)	96.986	0,61	5,94
Coco-da-baía (%)	96.986	0,48	4,63
Mamão (%)	96.986	0,16	2,73
Eucalipto (%)	96.986	5,28	15,42
Pinus (%)	96.986	0,03	1,37
Seringueira (%)	96.986	0,23	3,59
Outros Cultivos Permanentes (%)	96.986	2,09	9,71
Outros Cultivos Temporários (%)	96.986	2,72	10,45

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 3 – Balanceamento Antes do Pareamento por Distância de Mahalanobis

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	47.255	1.238	
Área da Propriedade (ha)	45,83 (226,96)	107,19 (1.549,99)	<0,001
Usos do solo total (ha)	41,52 (208,04)	97,06 (1.423,35)	<0,001
Distância (km) estrada	2,13 (1,94)	2,00 (1,75)	0,021
Distância (km) sede municipal	10,65 (5,55)	10,08 (5,04)	<0,001
Trecho de drenagem na propriedade (m)	684,32 (2.590,21)	1.392,10 (17.009,54)	<0,001
Altitude média (m)	404,31 (318,22)	456,86 (316,47)	<0,001
% propriedade em Área de Conservação	0,67 (7,05)	0,50 (5,05)	0,389
Mata Nativa (%)	17,49 (24,56)	17,34 (23,40)	0,833
Macega (%)	4,96 (10,28)	5,53 (9,22)	0,054
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	7,00 (11,98)	6,98 (10,72)	0,948
Brejo (%)	1,14 (5,47)	0,85 (3,81)	0,068
Afloramento Rochoso (%)	3,74 (11,45)	4,47 (12,41)	0,029
Solo Exposto (%)	1,63 (6,16)	1,54 (5,21)	0,644
Massa D'Água (%)	0,74 (4,54)	0,46 (2,10)	0,029
Extração Mineração (%)	0,09 (1,39)	0,02 (0,25)	0,087
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,11 (1,77)	0,08 (1,14)	0,461
Pastagem (%)	38,95 (32,92)	38,48 (31,48)	0,616
Restinga (%)	0,02 (0,77)	0,00 (0,09)	0,511
Área Edificada (%)	0,53 (5,13)	0,25 (2,61)	0,057
Mangue (%)	0,01 (0,74)	0,00 (0,00)	0,522
Outros (%)	2,37 (5,70)	2,14 (4,43)	0,159
Abacaxi (%)	0,00 (0,38)	0,00 (0,06)	0,777
Banana (%)	0,43 (3,93)	0,16 (1,73)	0,016
Café (%)	11,96 (19,08)	13,21 (18,88)	0,023
Cana-De-Açúcar (%)	0,79 (6,47)	0,51 (4,49)	0,120
Coco-Da-Baía (%)	0,26 (2,29)	0,30 (2,43)	0,566
Mamão (%)	0,19 (2,72)	0,13 (2,04)	0,482
Eucalipto (%)	4,63 (12,88)	4,76 (12,24)	0,727
Pinus (%)	0,04 (1,47)	0,04 (0,86)	0,983
Seringueira (%)	0,13 (2,42)	0,16 (3,26)	0,577
Outros Cultivos Permanentes (%)	0,91 (4,24)	0,91 (3,44)	0,947
Outros Cultivos Temporários (%)	1,88 (6,34)	1,68 (5,09)	0,268

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela 4 – Balanceamento Após o Pareamento por Distância de Mahalanobis

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.186	1.238	
Área da Propriedade (ha)	76,36 (871,80)	107,19 (1.549,99)	0,549
Usos do solo total (ha)	69,04 (798,31)	97,06 (1.423,35)	0,552
Distância (km) estrada	2,00 (1,69)	2,00 (1,75)	0,964
Distância (km) sede municipal	10,29 (5,06)	10,08 (5,04)	0,322
Trecho de drenagem na propriedade (m)	994,08 (9.181,90)	1.392,10 (17.009,54)	0,476
Altitude média (m)	446,61 (314,66)	456,86 (316,47)	0,424
% propriedade em Área de Conservação	0,36 (4,42)	0,50 (5,05)	0,457
Mata Nativa (%)	17,75 (24,20)	17,34 (23,40)	0,675
Macega (%)	4,76 (8,89)	5,53 (9,22)	0,037
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	6,77 (10,79)	6,98 (10,72)	0,638
Brejo (%)	0,65 (3,60)	0,85 (3,81)	0,180
Afloramento Rochoso (%)	3,92 (12,13)	4,47 (12,41)	0,273
Solo Exposto (%)	1,17 (4,57)	1,54 (5,21)	0,064
Massa D'Água (%)	0,39 (2,40)	0,46 (2,10)	0,475
Extração Mineração (%)	0,02 (0,29)	0,02 (0,25)	0,762
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,06 (1,18)	0,08 (1,14)	0,680
Pastagem (%)	41,98 (32,56)	38,48 (31,48)	0,007
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,325
Área Edificada (%)	0,18 (2,20)	0,25 (2,61)	0,483
Mangue (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	NaN
Outros (%)	1,78 (3,72)	2,14 (4,43)	0,028
Abacaxi (%)	0,00 (0,09)	0,00 (0,06)	0,751
Banana (%)	0,13 (1,66)	0,16 (1,73)	0,724
Café (%)	13,07 (18,82)	13,21 (18,88)	0,851
Cana-De-Açúcar (%)	0,44 (4,18)	0,51 (4,49)	0,723
Coco-Da-Baía (%)	0,25 (2,38)	0,30 (2,43)	0,647
Mamão (%)	0,13 (2,08)	0,13 (2,04)	0,931
Eucalipto (%)	4,34 (12,09)	4,76 (12,24)	0,399
Pinus (%)	0,03 (0,72)	0,04 (0,86)	0,670
Seringueira (%)	0,09 (2,44)	0,16 (3,26)	0,523
Outros Cultivos Permanentes (%)	0,66 (3,07)	0,91 (3,44)	0,057
Outros Cultivos Temporários (%)	1,43 (4,61)	1,68 (5,09)	0,217

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

5 RESULTADOS

Nesta seção, apresenta-se os resultados da análise de impacto do programa Reflorestar utilizando diferentes modelos econométricos. A subseção 5.1 discute os resultados do modelo de Diferenças em Diferenças (DID) aplicado à amostra sem pareamento, detalhando os efeitos do programa sobre diversas categorias de uso do solo. A subseção 5.2 examina os resultados após aplicar o modelo DID à amostra pareada, permitindo uma comparação mais precisa entre grupos de tratamento e controle. A subseção 5.3 analisa os resultados obtidos pelo modelo de Diferenças em Diferenças Duplamente Robusto (DR-DID), proposto pelos autores Sant'Anna e Zhao (2020). Por fim, a subseção 5.4 compara os resultados obtidos entre os diferentes modelos e avalia a consistência das estimativas.

5.1 MODELO SEM PAREAMENTO

Ao aplicar o modelo de diferenças em diferenças descrito na equação 4.6 sobre a amostra sem pareamento, observamos efeitos benéficos no reflorestamento. A variável Mata compreende três categorias de uso do solo distintas: Macega, Mata Nativa em Estágio Inicial e Mata Nativa. Dada essa diversidade, realizou-se uma análise específica para cada uma dessas categorias, buscando determinar a existência de efeitos positivos atribuíveis ao programa em questão. Essa investigação revelou que todas as categorias, tanto de forma agrupada sob o termo Mata quanto individualmente como Mata Nativa em Estágio Inicial e Mata Nativa, exibem significância estatística, com exceção de Macega, conforme Tabela 5. Em termos quantitativos, observou-se um incremento de 15,1% na área destinada à categoria geral Mata, de 11,13% para Mata Nativa em Estágio Inicial e de 9,4% para Mata Nativa, indicando um impacto positivo do programa Reflorestar nas propriedades participantes.

Na realização da segunda análise, foi dada ênfase à classe de cultivos para explorar possíveis variações no impacto do programa Reflorestar entre diferentes tipos de produção agrícola. A categoria "Cultivos" abarca uma gama diversificada de culturas, incluindo Café, Mamão, Banana, Cana-de-Açúcar, Coco-da-Baía, Abacaxi, Outros Cultivos Temporários e Permanentes. Inicialmente, procedeu-se com uma análise global da variável Cultivos, identificando o impacto do programa sobre essa classe de uso do solo. Paralelamente, analisou-se individualmente as principais atividades agrícolas do estado do Espírito Santo escolhendo destacar as culturas mais representativas para entender os efeitos específicos do programa em cada uma delas.

Na Tabela 6, observou-se um acréscimo de 10,2% na área destinada a Cultivos

Tabela 5 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento

	Mata (1)	Mata Nativa (2)	Macega (3)	Mata Nativa em Estágio Inicial (4)
Trat x Pos	0,151*** (0,053)	0,094* (0,053)	0,049 (0,038)	0,113*** (0,040)
Tratamento	0,288*** (0,035)	0,197*** (0,036)	0,182*** (0,026)	0,153*** (0,027)
Pós-Tratamento	-0,273*** (0,008)	-0,389*** (0,008)	0,008 (0,005)	-0,077*** (0,006)
Observações	96.986	96.986	96.986	96.986
R ²	0,014	0,028	0,002	0,003
F Statistic	446,841***	920,730***	54,681***	106,590***

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

nas propriedades participantes do programa em relação às não participantes. A plantação de Banana também se destacou, registrando um aumento de 5,8% e ambos os resultados apresentam significância estatística. Já a atividade agrícola de Mamão, embora tenha registrado um aumento percentual, não se mostrou significativo estatisticamente. Quanto às culturas de Café e de Canade-Açúcar, observou-se uma redução na área plantada, refletindo um impacto adverso, ainda que tais mudanças não tenham sido estatisticamente significativas.

Tabela 6 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos

	Cultivos (1)	Café (2)	Mamão (3)	Banana (4)	Cana-de-Açúcar (5)
Trat x Pos	0,102** (0,052)	-0,012 (0,050)	0,012 (0,011)	0,058*** (0,012)	-0,002 (0,016)
Tratamento	0,257*** (0,035)	0,277*** (0,034)	0,005 (0,008)	-0,015*** (0,005)	-0,000 (0,011)
Pós- Tratamento	-0,066*** (0,007)	-0,102*** (0,007)	-0,012*** (0,001)	0,023*** (0,002)	-0,035*** (0,003)
Observações	96.986	96.986	96.986	96.986	96.986
R ²	0,003	0,004	0,001	0,002	0,002
F Statistic	83,186***	127,683***	28,746***	76,682***	66,080***

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

Ao realizar a terceira análise dos dados, voltou-se a atenção para outras classes de

uso do solo, como pastagem, reflorestamento de eucalipto, seringueira e pinus, ampliando ainda mais o escopo de investigação do impacto do programa Reflorestar. Os resultados descritos na Tabela 7 indicam que houve uma diminuição de área, significativa estatisticamente, de Pastagem, reduzindo 13,2%, após a implementação do programa. A área de Eucalipto também demonstrou uma redução de 1,1%, apesar de não ter apresentado significância estatística. Em contrapartida, Seringueira apresentou um incremento de 1,2% em sua área, enquanto Pinus não sofreu alterações, mantendo-se estável. Ambos os resultados não revelaram significância estatística.

Tabela 7 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo

	Pastagem (1)	Eucalipto (2)	Seringueira (3)	Pinus (4)
Trat x Pos	-0,132** (0,056)	-0,011 (0,037)	0,012 (0,011)	0,000 (0,003)
Tratamento	0,233*** (0,042)	0,101*** (0,026)	0,003 (0,007)	0,002 (0,003)
Pós-Tratamento	-1,281*** (0,008)	-0,054*** (0,005)	0,009*** (0,001)	-0,001** (0,001)
Observações	96.986	96.986	96.986	96.986
R ²	0,197	0,001	0,000	0,000
F Statistic	7,928.298***	45,887***	15,177***	2,121*

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

5.2 MODELO PAREADO

Ao aplicar o modelo de diferenças em diferenças à amostra pareada, observou-se variações nos resultados. A Tabela 8 detalha os impactos do programa Reflorestar, distribuindo-os por quatro categorias específicas, já apresentadas na seção 5.1. Embora todas as variáveis apresentem um efeito positivo do programa, refletido pelo aumento percentual da área plantada, somente as categorias Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial atingiram significância estatística. Comparando com os resultados da Tabela 5, na atual análise Mata Nativa não possui significância estatística e as variáveis Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial são significativas ao nível de 10%.

A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de impacto do programa Reflorestar sobre a classe de cultivos. As análises, tanto da variável Cultivos de forma agregada quanto das investigações específicas por cultura, evidenciaram impactos positivos no aumento percentual da área cultivada para quase todas as culturas, com exceção da Cana-de-Açúcar.

Tabela 8 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (2)

	Mata (1)	Mata Nativa (2)	Macega (3)	Mata Nativa em Estágio Inicial (4)
Trat x Pos	0,138* (0,074)	0,086 (0,072)	0,075 (0,051)	0,107* (0,055)
Tratamento	0,201*** (0,050)	0,122** (0,049)	0,122*** (0,035)	0,101*** (0,038)
Pós-Tratamento	-0,260*** (0,052)	-0,381*** (0,049)	-0,018 (0,035)	-0,071* (0,038)
Observações	4.848	4.848	4.848	4.848
R ²	0,017	0,022	0,008	0,007
F Statistic	27,674***	36,752***	13,556***	11,963***

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

Entre essas culturas, somente o cultivo de Banana demonstrou um aumento estatisticamente significativo, com um acréscimo de 3,5% nas áreas das propriedades participantes do programa. Ao contrastar esses achados com os obtidos no modelo sem pareamento (Tabela 6), observou-se que a cultura de Banana não só manteve seu incremento na área cultivada, mas também preservou sua relevância estatística ao nível de 1%. Por outro lado, apesar de a análise agregada dos Cultivos ainda revelar tendências positivas, a significância estatística desses efeitos não persistiu na análise atual.

Tabela 9 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (2)

	Cultivos (1)	Café (2)	Mamão (3)	Banana (4)	Cana-de-Açúcar (5)
Trat x Pos	0,093 (0,070)	0,030 (0,067)	0,007 (0,014)	0,035** (0,016)	-0,013 (0,023)
Tratamento	0,171*** (0,049)	0,132*** (0,046)	0,004 (0,011)	-0,000 (0,007)	0,013 (0,016)
Pós- Tratamento	-0,058 (0,048)	-0,143*** (0,046)	-0,007 (0,009)	0,046*** (0,010)	-0,025 (0,016)
Observações	4.848	4.848	4.848	4.848	4.848
R ²	0,008	0,007	0,000	0,016	0,002
F Statistic	13,323***	11,184***	0,523	25,740***	2,722**

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

No levantamento de dados apresentado na Tabela 10, explorou-se o impacto do

programa Reflorestar nas diversas classes de uso do solo, demonstrando variações notáveis para cada categoria. Especificamente, a análise indica que Pastagem e Eucalipto sofreram reduções em suas extensões, respectivamente de 1,8% e 3,2%, alterações essas que não atingiram a marca da significância estatística. Em contrapartida, Seringueira registrou um acréscimo de 2,2% em sua área, alcançando significância estatística ao nível de 10%, o que indica um impacto positivo do programa nesta classe de uso do solo. Ao comparar esses resultados com os achados da Tabela 7, notou-se que a variável Pastagem, que anteriormente mostrava uma redução percentual significativa, perde sua significância estatística na análise com os dados pareados, e que Pinus se manteve inalterado, sem evidenciar nenhum efeito ou significância estatística.

Tabela 10 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (2)

	Pastagem (1)	Eucalipto (2)	Seringueira (3)	Pinus (4)
Trat x Pos	-0,018 (0,077)	-0,032 (0,051)	0,022* (0,013)	0,000 (0,004)
Tratamento	0,082 (0,057)	0,090*** (0,035)	0,005 (0,009)	0,002 (0,003)
Pós-Tratamento	-1,394*** (0,053)	-0,033 (0,035)	-0,002 (0,007)	-0,001 (0,002)
Observações	4.848	4.848	4.848	4.848
R ²	0,216	0,003	0,002	0,000
F Statistic	444,522***	4,206***	3,624**	0,384

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%

**Significativo a 5%

* Significativo a 10%

Desvios padrões robustos.

A aplicação do pareamento por distância Mahalanobis resultou em uma análise mais acurada e precisa dos efeitos do programa, ajustando para potenciais variáveis de confusão não observadas no modelo base. Isso é evidenciado pela alteração na magnitude e significância dos coeficientes entre os dois modelos. De fato, as propriedades envolvidas no programa Reflorestar experimentaram um aumento na área em hectares para diferentes classes de uso do solo. Contudo, a afirmação de que o programa teve um efeito positivo se aplica especificamente às variáveis que alcançaram significância estatística. Estas incluem a categoria Mata, apresentando um incremento de 13,8% em sua área, alcançando significância estatística ao nível de 10%; Mata Nativa em Estágio Inicial, com um aumento de 10,7%, igualmente significativo ao nível de 10%; Banana, registrando um crescimento de 3,5% de área plantada, significativo ao nível de 5%; e Seringueira, com um acréscimo de 2,2%, significativo ao nível de 10%.

5.3 MODELO DRDID

O modelo de Diferenças em Diferenças Duplamente Robusto (DRDID) implementa três abordagens principais para estimar o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT): DID OLS, DR Tradicional (DR Trad.) e DR com Melhorias (DR Imp.). O DID OLS é o método mais básico, baseado em uma regressão linear (OLS - Ordinary Least Squares) que estima o efeito do programa a partir da interação entre a variável de tratamento e o período pós-intervenção. No entanto, essa abordagem não corrige diferenças iniciais entre os grupos tratados e controle, assumindo diretamente a hipótese de tendências paralelas, o que pode levar a estimativas enviesadas caso essa suposição não seja válida.

O DR Tradicional (DR Trad.) aprimora esse método ao combinar modelos de escore de propensão e modelos de regressão de resultados. Essa combinação garante que a estimativa do efeito causal permaneça consistente mesmo que apenas um desses modelos esteja corretamente especificado, tornando o método mais robusto contra erros de modelagem. Por sua vez, o DR com Melhorias (DR Imp.) refina ainda mais essa abordagem ao otimizar a ponderação dos pesos do escore de propensão, reduzindo a influência de observações extremas e melhorando o balanceamento entre os grupos. Além disso, o DR Imp. aplica correções para viés residual, minimizando erros que podem surgir devido à forma funcional escolhida na modelagem, e introduz ajustes na variância assintótica, reduzindo a incerteza associada às estimativas e tornando os intervalos de confiança mais precisos (SANT'ANNA, 2021).

Os resultados apresentados na Tabela 11 indicam que, para a categoria Mata, o impacto do programa foi significativo em todos os modelos, com variações na magnitude dos coeficientes. O modelo DID OLS estimou um incremento de 15,07%, significativo ao nível de 5%, enquanto os modelos DR Trad. e DR Imp. apresentaram incrementos ligeiramente menores (12,96% e 13,10%, respectivamente), mas com maior precisão estatística, sendo significativos ao nível de 1%. A menor magnitude dos coeficientes, nos métodos duplamente robustos, sugere que o ajuste adicional para diferenças entre os grupos de tratamento e controle reduziu possíveis vieses que poderiam estar inflando a estimativa do DID OLS. Já a categoria Mata Nativa apresentou coeficientes positivos em todos os métodos, mas sem significância estatística, o que pode indicar que os efeitos do programa ainda não são suficientemente expressivos nessa categoria.

Para Macega, os efeitos também foram positivos, mas sem robustez estatística, possivelmente devido à maior variabilidade na resposta desse tipo de vegetação. Por outro lado, a categoria Mata Nativa em Estágio Inicial revelou impactos estatisticamente significativos em todos os métodos. O DID OLS estimou um incremento de 11,27%, significativo ao nível de 5%, enquanto os modelos DR Trad. e DR Imp. apresentaram valores

próximos de 10%, ambos significativos ao nível de 1%, reforçando a confiabilidade das estimativas.

Tabela 11 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (3)

DRDID	ATT	Erro Padrão	t-value
Mata			
DID OLS	0.1507**	0.0530	2.8411
DR Trad.	0.1296***	0.0364	3.5565
DR Imp.	0.1310***	0.0362	3.6238
Mata Nativa			
DID OLS	0.0935	0.0530	1.7653
DR Trad.	0.0727	0.0415	1.7500
DR Imp.	0.0731	0.0415	1.7635
Macega			
DID OLS	0.0491	0.0381	1.2867
DR Trad.	0.0552	0.0302	1.8294
DR Imp.	0.0548	0.0301	1.8196
Mata Nativa em Estágio Inicial			
DID OLS	0.1127**	0.0401	2.8082
DR Trad.	0.1007**	0.0284	3.5440
DR Imp.	0.1011***	0.0284	3.5608

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

Analisando a categoria Cultivos, conforme indicado na Tabela 12, o impacto do programa Reflorestar foi estatisticamente significativo nos modelos duplamente robustos (DR Trad. e DR Imp.), mas não no DID OLS. O modelo DR Imp. estimou um incremento de 12,55%, significativo ao nível de 5%, enquanto o DR Trad. apresentou um impacto ligeiramente maior (13,29%), também significativo ao nível de 5%. A ausência de significância no DID OLS sugere que a abordagem tradicional pode não ter capturado corretamente as diferenças entre os grupos tratados e de controle, reforçando a importância dos ajustes realizados pelos métodos duplamente robustos.

Na análise individual dessa categoria, o cultivo de Banana destacou-se como significativo em todos os modelos, com incrementos ao redor de 5%, o que indica um efeito

consistente do programa sobre essa cultura. Por outro lado, os cultivos de Café e Cana-de-Açúcar não apresentaram significância estatística em nenhum dos modelos, sugerindo que o programa pode não ter gerado impactos mensuráveis nessas culturas. O cultivo de Mamão, por sua vez, mostrou um impacto significativo apenas nos modelos DR Trad. e DR Imp., com incrementos próximos de 2%, enquanto no DID OLS, o efeito não foi estatisticamente significativo.

Tabela 12 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (3)

DRDID	ATT	Erro Padrão	t-value
Cultivos			
DID OLS	0.1016**	0.0515	1.9712
DR Trad.	0.1329**	0.0447	2.9750
DR Imp.	0.1255**	0.0384	3.2701
Café			
DID OLS	-0.0115	0.0496	-0.2326
DR Trad.	0.0241	0.0428	0.5638
DR Imp.	0.0186	0.0380	0.4890
Mamão			
DID OLS	0.0123	0.0112	1.0971
DR Trad.	0.0231*	0.0117	1.9806
DR Imp.	0.0222*	0.0108	2.0462
Banana			
DID OLS	0.0578***	0.0118	4.8943
DR Trad.	0.0526***	0.0111	4.7498
DR Imp.	0.0524***	0.0111	4.7373
Cana-de-Açúcar			
DID OLS	-0.0021	0.0159	-0.1337
DR Trad.	0.0011	0.0107	0.1035
DR Imp.	0.0010	0.0097	0.0957

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

Ao analisar as outras classes de solo na Tabela 13, observou-se que a categoria

Pastagem apresentou uma redução significativa em todos os modelos, sendo esse efeito mais robusto no modelo DR Imp., que estimou uma redução de 12,99%, significativa ao nível de 5%. Os modelos DID OLS e DR Trad. também apontaram reduções semelhantes (13,18% e 12,34%, respectivamente), porém com menor precisão estatística. Esses achados sugerem que o programa pode estar contribuindo para a conversão de áreas de pastagem para outras formas de uso do solo, incentivando a recuperação florestal.

Para a categoria Eucalipto, os coeficientes indicam uma tendência de redução, mas nenhum dos modelos apresentou significância estatística, o que sugere que o programa pode não ter tido efeito sobre essa cultura ou que as alterações no uso do solo ainda não foram suficientemente relevantes. No caso da Seringueira, os coeficientes foram positivos em todos os modelos, indicando um possível aumento na área ocupada por essa cultura. No entanto, nenhum dos modelos apresentou significância estatística. Já a categoria Pinus apresentou coeficientes próximos de zero em todos os modelos, sem qualquer evidência de impacto do programa sobre essa classe de solo.

Tabela 13 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (3)

DRDID	ATT	Erro Padrão	t value
Pastagem			
DID OLS	-0.1318*	0.0560	-2.3551
DR Trad.	-0.1234*	0.0483	-2.5544
DR Imp.	-0.1299**	0.0439	-2.9623
Eucalipto			
DID OLS	-0.0111	0.0372	-0.2979
DR Trad.	-0.0312	0.0296	-1.0519
DR Imp.	-0.0321	0.0293	-1.0951
Seringueira			
DID OLS	0.0115	0.0110	1.0432
DR Trad.	0.0188	0.0100	1.8767
DR Imp.	0.0181	0.0098	1.8417
Pinus			
DID OLS	0.0003	0.0033	0.0784
DR Trad.	0.0009	0.0033	0.2723
DR Imp.	0.0010	0.0033	0.2985

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%
 **Significativo a 5%
 * Significativo a 10%
 Desvios padrões robustos.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS ESTIMADOS

Nesta subseção, comparou-se os resultados dos diferentes modelos aplicados para analisar o impacto do programa Reflorestar sobre as categorias de uso do solo já mencionadas. Utilizamos três abordagens distintas: o modelo de Diferenças em Diferenças (DID) sem pareamento, o modelo de Diferenças em Diferenças (DID) com os dados pareados através da métrica de Distância de Mahalanobis (MDM) e o modelo de Diferenças em Diferenças Duplamente Robusto (DRDID).

Tabela 14 – Impacto do Programa Reflorestar – Reflorestamento (4)

DID sem Pareamento	DID com Pareamento	DRDID	ATT	Erro Padrão	t value
Mata					
0.151***	0.138*	DID OLS	0.1507**	0.053	2.8411
		DR Trad.	0.1296***	0.0364	3.5565
		DR Imp.	0.131***	0.0362	3.6238
Mata Nativa					
0.094*	0.086	DID OLS	0.0935	0.053	1.7653
		DR Trad.	0.0727	0.0415	1.75
		DR Imp.	0.0731	0.0415	1.7635
Macega					
0.049	0.075	DID OLS	0.0491	0.0381	1.2867
		DR Trad.	0.0552	0.0302	1.8294
		DR Imp.	0.0548	0.0301	1.8196
Mata Nativa em Estágio Inicial					
0.113***	0.107*	DID OLS	0.1127**	0.0401	2.8082
		DR Trad.	0.1007**	0.0284	3.544
		DR Imp.	0.1011***	0.0284	3.5608

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%

**Significativo a 5%

* Significativo a 10%

Desvios padrões robustos.

Os resultados da Tabela 14 mostram que os diferentes métodos geraram estimativas semelhantes do efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT), com diferenças na precisão e significância estatística. O DID, com ou sem pareamento, produziu coeficientes próximos aos dos métodos duplamente robustos (DRDID – DR Trad. e DR Imp.), mas com erros padrão maiores e menor precisão. Já os modelos DR Trad. e DR Imp. estimaram coeficientes ligeiramente menores, sugerindo que os ajustes adicionais reduziram vieses na estimativa dos efeitos do programa. A significância estatística variou entre os métodos: para Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial, os efeitos foram positivos e significativos em

todas as abordagens, sendo os modelos duplamente robustos os mais precisos. Em Mata Nativa e Macega, os coeficientes permaneceram positivos, mas sem atingir significância estatística.

De forma semelhante, os dados da Tabela 15 também mostraram resultados próximos entre os modelos estimados. Nos métodos DR Trad. e DR Imp., o impacto sobre Cultivos foi positivo e significativo ao nível de 5%, com valores ligeiramente superiores ao DID sem pareamento, enquanto o DID com pareamento não apresentou significância estatística. Ao analisar as culturas individualmente, percebe-se que o cultivo de Banana apresentou um efeito positivo e estatisticamente significativo em todos os modelos. Já os cultivos de Café e Cana-de-Açúcar não mostraram evidências estatísticas de impacto. O cultivo de Mamão, por outro lado, foi significativo apenas nos modelos DR Trad. e DR Imp., reforçando a importância dos métodos duplamente robustos para capturar efeitos que podem não ser evidentes em abordagens mais simples.

Tabela 15 – Impacto do Programa Reflorestar – Cultivos (4)

DID sem Pareamento	DID com Pareamento	DRDID	ATT	Erro Padrão	t value
Cultivos					
0.102**	0.093	DID OLS	0.1016**	0.0515	1.9712
		DR Trad.	0.1329**	0.0447	2.975
		DR Imp.	0.1255**	0.0384	3.2701
Café					
-0.012	0.030	DID OLS	-0.0115	0.0496	-0.2326
		DR Trad.	0.0241	0.0428	0.5638
		DR Imp.	0.0186	0.038	0.489
Mamão					
0.012	0.007	DID OLS	0.0123	0.0112	1.0971
		DR Trad.	0.0231*	0.0117	1.9806
		DR Imp.	0.0222*	0.0108	2.0462
Banana					
0.058***	0.035**	DID OLS	0.0578***	0.0118	4.8943
		DR Trad.	0.0526***	0.0111	4.7498
		DR Imp.	0.0524***	0.0111	4.7373
Cana-de-Açúcar					
-0.002	-0.013	DID OLS	-0.0021	0.0159	-0.1337
		DR Trad.	0.0011	0.0107	0.1035
		DR Imp.	0.0010	0.0097	0.0957

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%

**Significativo a 5%

* Significativo a 10%

Desvios padrões robustos.

A análise das demais classes de solo na Tabela 16 revela que a categoria Pastagem apresentou uma redução significativa em todos os métodos, com a maior queda estimada pelo modelo DR Imp. (-12,99%), significativa ao nível de 5%. Os modelos DID e DR Trad. também apontaram reduções, porém com menor precisão estatística. Para Eucalipto, nenhum dos métodos indicou significância estatística, embora os coeficientes sugiram uma tendência de redução. Já a Seringueira apresentou coeficientes positivos em todos os modelos, sugerindo um possível aumento na área ocupada, mas apenas o DID com pareamento captou um efeito estatisticamente significativo, estimando um crescimento de 2,2% com significância de 10%. Por fim, a categoria Pinus mostrou coeficientes próximos de zero em todas as abordagens, sem indícios de impacto do programa sobre essa classe de solo.

Tabela 16 – Impacto do Programa Reflorestar – Outras Classes de Solo (4)

DID sem Pareamento	DID com Pareamento	DRDID	ATT	Erro Padrão	t value
Pastagem					
-0.132**	-0.018	DID OLS	-0.1318*	0.056	-2.3551
		DR Trad.	-0.1234*	0.0483	-2.5544
		DR Imp.	-0.1299**	0.0439	-2.9623
Eucalipto					
-0.011	-0.032	DID OLS	-0.0111	0.0372	-0.2979
		DR Trad.	-0.0312	0.0296	-1.0519
		DR Imp.	-0.0321	0.0293	-1.0951
Seringueira					
0.012	0.022*	DID OLS	0.0115	0.011	1.0432
		DR Trad.	0.0188	0.01	1.8767
		DR Imp.	0.0181	0.0098	1.8417
Pinus					
0.00	0.00	DID OLS	3e-04	0.0033	0.0784
		DR Trad.	9e-04	0.0033	0.2723
		DR Imp.	0.001	0.0033	0.2985

Fonte: Elaboração Própria.

***Significativo a 1%

**Significativo a 5%

* Significativo a 10%

Desvios padrões robustos.

A partir das tabelas expostas, verificou-se que os resultados utilizando estimadores robustos (DR Trad. e DR Imp.) não diferiram substancialmente dos resultados obtidos nos demais modelos, sugerindo que a validação da hipótese de tendências paralelas não representa ser um problema. Por exemplo, para a categoria Mata, o modelo DID OLS estimou um incremento de 15,07%, enquanto os métodos DR Trad. e DR Imp. apresentaram incrementos ligeiramente menores, mas ainda significativos. Da mesma forma, na

categoria Mata Nativa em Estágio Inicial, tanto o modelo DID OLS quanto os métodos robustos indicaram incrementos próximos de 10% a 11%, demonstrando consistência entre as abordagens. Na análise da classe de cultivos, o impacto positivo na área plantada de Banana foi consistente em todos os modelos, e como na categoria Pastagem todos os resultados apresentaram reduções significativas de área. Ademais, a aplicação de estimadores robustos revelou efeitos significativos que não eram evidentes nas análises anteriores.

Comparando com outros programas de PSA, notou-se que uma provisão de assistência técnica eficaz e contínua pode contribuir para um resultado positivo. Os autores Patrick, Butsic e Potts (2023), que avaliaram projetos de PSA na Guatemala, encontraram aumentos de 8,7% e 3,2% na cobertura florestal para os programas PINFOR e PINPEP, respectivamente. Uma semelhança entre esses programas e o programa Reflorestar é a provisão de assistência técnica eficaz e contínua.

Já os autores Segura-Millán e Perez-Verdin (2023), que investigaram o programa PES no México, não encontraram mudanças significativas na cobertura vegetal e no uso da terra. Adicionalmente, os autores Kemigisha et al. (2023) analisaram o programa PES Budongo-Bugoma em Uganda, e embora o programa tenha reduzido a taxa de desmatamento inicialmente, esse impacto positivo não se sustentou, desaparecendo após o término dos pagamentos. Em ambos os programas, a falta de continuidade no suporte técnico foi um fator crítico observado.

Nesse sentido, Börner, Marinho e Wunder (2015) reforçam essa ideia ao destacar que a combinação de incentivos econômicos com a fiscalização governamental é fundamental para garantir a efetividade dos programas de PSA. Em seu estudo sobre a Amazônia brasileira, os autores evidenciam que a integração de assistência técnica com incentivos econômicos e a aplicação rigorosa das leis ambientais são componentes essenciais para alcançar uma conservação florestal significativa.

Cabe ressaltar, também, que em um estudo recente, Izquierdo-Tort, Jayachandran e Saavedra (2024) avaliaram a eficácia de um programa de PSA no México, focado na redução do desmatamento através da modificação dos contratos tradicionais. O estudo utilizou um ensaio controlado randomizado para comparar a eficácia de dois tipos de contratos: um que permitia aos participantes escolherem quais parcelas de terra inscrever no programa (inscrição parcial) e outro que exigia a inscrição de todas as terras florestais elegíveis (inscrição completa). Os resultados indicaram que o contrato de inscrição completa reduziu o desmatamento em 41% em comparação ao contrato tradicional, demonstrando uma eficácia quatro vezes maior em termos de custo-benefício.

Além disso, a pesquisa destacou a importância de reduzir os pagamentos infra-marginais, que não contribuem para a conservação adicional, aumentando assim a custo-efetividade do programa. Os autores também observaram altos níveis de satisfação entre os participantes, mesmo com requisitos mais rigorosos. Essas descobertas sugerem que

o programa Reflorestar poderia aumentar sua eficácia adotando contratos de inscrição completa, ajustando os critérios de pagamento para focar em resultados adicionais. Implementar essas estratégias pode melhorar a conservação florestal e a otimização dos recursos financeiros disponíveis, garantindo maior sustentabilidade e eficiência nas ações de reflorestamento.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo oferece uma análise dos efeitos do programa Reflorestar sobre diferentes categorias de uso do solo no estado do Espírito Santo, destacando sua eficácia na promoção da conservação florestal. Utilizando metodologias econométricas, como Pareamento por Distância de Mahalanobis (MDM), Diferenças em Diferenças (DID) e estimadores duplamente robustos (ATT), os resultados evidenciaram que a participação no programa resultou em um aumento significativo da área destinada à conservação florestal, especialmente nas categorias Mata e Mata Nativa em Estágio Inicial. Adicionalmente, verificou-se uma redução significativa na área de Pastagem, sugerindo uma mudança no uso do solo em consonância com os objetivos de restauração ambiental propostos pelo programa.

A comparação com experiências internacionais de PSA, como os programas implementados na Guatemala, México e Uganda, permitiu identificar que um possível fator de sucesso dos projetos de PSA seja o suporte técnico contínuo e de longo prazo. Nos contextos em que esse suporte foi fragmentado ou inexistente, como observado no programa de Uganda, os impactos positivos se dissiparam rapidamente após o término dos pagamentos. Em contrapartida, programas que integraram assistência técnica e incentivos econômicos, como os casos guatemaltecos, apresentaram resultados expressivos em termos de aumento de cobertura florestal.

Nesse sentido, o programa Reflorestar se posiciona de forma vantajosa ao incorporar um suporte técnico contínuo e adaptado às especificidades das propriedades participantes, o que tem assegurado maior comprometimento e eficácia na implementação das ações de conservação. No entanto, a análise sugere que o programa pode otimizar ainda mais sua eficácia ao adotar práticas que vão além do suporte técnico, como a inscrição completa de todas as áreas elegíveis para PSA, conforme evidenciado por Izquierdo-Tort, Jayachandran e Saavedra (2024).

Entretanto, este estudo apresenta limitações que podem afetar a interpretação de seus resultados. A ausência de informações sobre o ano de entrada no programa das propriedades beneficiárias e sobre o tempo de permanência de cada propriedade no programa também dificulta uma análise mais precisa dos impactos ao longo do tempo. Essa falta de dados impede a avaliação do comportamento dos proprietários rurais após a saída do programa, impossibilitando a comparação com os resultados encontrados por Kemigisha et al. (2023). Essas limitações ressaltam a importância da continuidade do presente trabalho para abordar essas lacunas e aprimorar a compreensão do impacto do programa Reflorestar no estado do Espírito Santo e a compreensão acerca do PSA.

Referências

- ANGRIST, J. D.; PISCHKE, J.-S. *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. [S.l.]: Princeton University Press, 2009. 21, 23
- BRASIL. *Lei N. 14.119, De 14 De Janeiro De 2021. Institui A Política Nacional De Pagamento Por Serviços Ambientais E Dá Outras Providências*. 2021. Diário Oficial [Da] República Federativa Do Brasil, Brasília, DF. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://www.planalto.gov.br>>. 14
- BÖRNER, J.; MARINHO, E.; WUNDER, S. Mixing carrots and sticks to conserve forests in the brazilian amazon: A spatial probabilistic modeling approach. *Plos One*, v. 10, n. 2, p. 1–20, 2015. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0116846>>. 42
- CISNEROS, E. et al. Impacts of conservation incentives in protected areas: The case of bolsa floresta, brazil. *Journal Of Environmental Economics And Management*, v. 111, p. 102572, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102572>>. 12, 15, 17
- EZZINE-DE-BLAS, D. et al. Global patterns in the implementation of payments for environmental services. *Plos One*, v. 11, n. 3, p. E0149847, 2016. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149847>>. 15
- FEDROWITZ, K. et al. Can retention forestry help conserve biodiversity? a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, v. 51, n. 6, p. 1669–1679, 2014. 12
- FOGUEL, M. Modelos de resultados potenciais. In: FILHO, N. A. M.; PINTO, C. C. d. X. (Ed.). *Avaliação Econômica de Projetos Sociais*. 3. ed. São Paulo: Fundação Itaú Social, 2017. p. 39–54. 22
- GALLEMORE, C. T. et al. *Vietnam's Payments For Forest Ecosystem Services Scheme's Role In Protecting Longstanding Forests As Deforestation Rates Rise*. 2023. Disponível Em: <<https://ssrn.com/abstract=4409664>>. 14
- GERTLER, P. et al. *Avaliação De Impacto Na Prática*. 2. ed. Washington, DC: Banco Interamericano De Desenvolvimento E Banco Mundial, 2018. 21
- GODECKE, M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES, I. R. O futuro dos pagamentos por serviços ambientais no brasil a partir do novo código florestal. *Desenvolvimento E Meio Ambiente*, v. 31, p. 109–120, 2014. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/download/34896/23038>>. 14
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; RUIZ-PÉREZ, M. Economic valuation and the commodification of ecosystem services. *Progress In Physical Geography*, v. 35, n. 5, p. 613–628, 2011. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0309133311421708>>. 14
- HO, D. E. et al. Matching as nonparametric preprocessing for reducing model dependence in parametric causal inference. *Political Analysis*, v. 15, n. 3, p. 199–236, 2007. Disponível em: <<https://gking.harvard.edu/files/matchp.pdf>>. 23

- IZQUIERDO-TORT, S.; JAYACHANDRAN, S.; SAAVEDRA, S. *Redesigning Payments For Ecosystem Services To Increase Cost-Effectiveness*. [S.l.], 2024. Disponível Em: <<http://www.nber.org/papers/w32689>>. 42, 44
- JACK, B. K.; JAYACHANDRAN, S. Self-selection into payments for ecosystem services programs. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, v. 116, n. 12, p. 5326–5333, 2019. 22
- KEMIGISHA, E. et al. Payment for environmental services to reduce deforestation: Do the positive effects last? *Ecological Economics*, v. 209, 2023. 12, 16, 17, 42, 44
- KING, G. et al. Comparative effectiveness of matching methods for causal inference. Manuscrito Não Publicado, Institute For Quantitative Social Science, Harvard University. 2011. 22
- MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, v. 69, n. 6, p. 1202–1208, 2010. Acesso Em: 30 Ago. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>>. 14
- NEWBOLD, T. et al. Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? a global assessment. *Science*, v. 353, n. 6296, p. 288–291, 2016. 12
- OLIVEIRA, L. R. D.; ALTAFIN, I. G. *Proambiente: Uma Política De Pagamento De Serviços Ambientais No Brasil*. 2008. 15
- PATRICK, E.; BUTSIC, V.; POTTS, M. D. Using payment for ecosystem services to meet national reforestation commitments: Impacts of 20+ years of forestry incentives in guatemala. *Environmental Research Letters*, v. 18, n. 10, 2023. 12, 16, 17, 42
- SANT'ANNA, P. H. C.; ZHAO, J. Doubly robust difference-in-differences estimators. *Journal Of Econometrics*, v. 219, n. 1, p. 101–122, 2020. 24, 30
- SANT'ANNA, P. H. C. *DRDID: Doubly Robust Difference-in-Differences Estimators in R*. 2021. Comprehensive R Archive Network (CRAN). Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/DRDID/index.html>>. 35
- SEGURA-MILLÁN, K.; PEREZ-VERDIN, G. The effect of payments for ecosystem services on forest cover, land use, and capacity building in northern mexico. *Trees, Forests And People*, v. 12, 2023. 16, 17, 42
- TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o código florestal. *Estudos Avançados*, v. 29, p. 151–162, 2015. 12
- TRAPANI, A. M. D. et al. Payment for environmental services for the sustainable development of the territory. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 10, n. 5, p. 480–488, 2014. 12
- VIANA, V. et al. Impactos do programa bolsa floresta: Uma avaliação preliminar. *Inclusão Social*, v. 6, n. 1, 2012. 15
- WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução À Econometria: Uma Abordagem Moderna*. 7. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2023. 23

WUNDER, S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*, v. 65, n. 4, p. 834–852, 2008. 12, 14

APÊNDICE A – TABELAS

Tabela A1 – Balanceamento - Mahalanobis sem reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.238	1.238	
Área da Propriedade (ha)	74,85 (853,62)	107,19 (1.549,99)	0,520
Usos do solo total (ha)	67,68 (781,66)	97,06 (1.423,35)	0,525
Distância (km) estrada	1,99 (1,68)	2,00 (1,75)	0,880
Distância (km) sede municipal	10,28 (5,05)	10,08 (5,04)	0,341
Trecho de drenagem na propriedade (m)	979,38 (8.990,58)	1.392,10 (17.009,54)	0,450
Altitude média (m)	452,00 (315,89)	456,86 (316,47)	0,702
% propriedade em Área de Conservação Mata Nativa (%)	0,34 (4,32)	0,50 (5,05)	0,401
Macega (%)	17,81 (24,30)	17,34 (23,40)	0,623
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	4,75 (8,81)	5,53 (9,22)	0,033
Brejo (%)	6,68 (10,68)	6,98 (10,72)	0,487
Afloramento Rochoso (%)	0,68 (3,65)	0,85 (3,81)	0,249
Solo Exposto (%)	3,92 (12,03)	4,47 (12,41)	0,268
Massa D'Água (%)	1,17 (4,50)	1,54 (5,21)	0,054
Extração Mineração (%)	0,38 (2,35)	0,46 (2,10)	0,389
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,02 (0,28)	0,02 (0,25)	0,704
Pastagem (%)	0,06 (1,15)	0,08 (1,14)	0,644
Restinga (%)	41,76 (32,68)	38,48 (31,48)	0,011
Área Edificada (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,314
Mangue (%)	0,17 (2,16)	0,25 (2,61)	0,427
Outros (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	NaN
Abacaxi (%)	1,78 (3,71)	2,14 (4,43)	0,026
Banana (%)	0,00 (0,09)	0,00 (0,06)	0,774
Café (%)	0,13 (1,62)	0,16 (1,73)	0,657
Cana-De-Açúcar (%)	13,36 (19,37)	13,21 (18,88)	0,849
Coco-Da-Baía (%)	0,42 (4,09)	0,51 (4,49)	0,638
Mamão (%)	0,25 (2,33)	0,30 (2,43)	0,600
Eucalipto (%)	0,12 (2,03)	0,13 (2,04)	0,878
Pinus (%)	4,28 (11,93)	4,76 (12,24)	0,328
Seringueira (%)	0,05 (0,93)	0,04 (0,86)	0,948
Outros Cultivos Permanentes (%)	0,14 (3,13)	0,16 (3,26)	0,870
Outros Cultivos Temporários (%)	0,65 (3,03)	0,91 (3,44)	0,047
	1,42 (4,58)	1,68 (5,09)	0,186

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela A2 – Balanceamento - Mahalanobis com reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.186	1.238	
Área da Propriedade (ha)	76,36 (871,80)	107,19 (1.549,99)	0,549
Usos do solo total (ha)	69,04 (798,31)	97,06 (1.423,35)	0,552
Distância (km) estrada	2,00 (1,69)	2,00 (1,75)	0,964
Distância (km) sede municipal	10,29 (5,06)	10,08 (5,04)	0,322
Trecho de drenagem na propriedade (m)	994,08 (9.181,90)	1.392,10 (17.009,54)	0,476
Altitude média (m)	446,61 (314,66)	456,86 (316,47)	0,424
% propriedade em Área de Conservação	0,36 (4,42)	0,50 (5,05)	0,457
Mata Nativa (%)	17,75 (24,20)	17,34 (23,40)	0,675
Macega (%)	4,76 (8,89)	5,53 (9,22)	0,037
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	6,77 (10,79)	6,98 (10,72)	0,638
Brejo (%)	0,65 (3,60)	0,85 (3,81)	0,180
Afloramento Rochoso (%)	3,92 (12,13)	4,47 (12,41)	0,273
Solo Exposto (%)	1,17 (4,57)	1,54 (5,21)	0,064
Massa D'Água (%)	0,39 (2,40)	0,46 (2,10)	0,475
Extração Mineração (%)	0,02 (0,29)	0,02 (0,25)	0,762
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,06 (1,18)	0,08 (1,14)	0,680
Pastagem (%)	41,98 (32,56)	38,48 (31,48)	0,007
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,325
Área Edificada (%)	0,18 (2,20)	0,25 (2,61)	0,483
Mangue (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	NaN
Outros (%)	1,78 (3,72)	2,14 (4,43)	0,028
Abacaxi (%)	0,00 (0,09)	0,00 (0,06)	0,751
Banana (%)	0,13 (1,66)	0,16 (1,73)	0,724
Café (%)	13,07 (18,82)	13,21 (18,88)	0,851
Cana-De-Açúcar (%)	0,44 (4,18)	0,51 (4,49)	0,723
Coco-Da-Baía (%)	0,25 (2,38)	0,30 (2,43)	0,647
Mamão (%)	0,13 (2,08)	0,13 (2,04)	0,931
Eucalipto (%)	4,34 (12,09)	4,76 (12,24)	0,399
Pinus (%)	0,03 (0,72)	0,04 (0,86)	0,670
Seringueira (%)	0,09 (2,44)	0,16 (3,26)	0,523
Outros Cultivos Permanentes (%)	0,66 (3,07)	0,91 (3,44)	0,057
Outros Cultivos Temporários (%)	1,43 (4,61)	1,68 (5,09)	0,217

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela A3 – Balanceamento - Logit sem Reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.238	1.238	
Área da Propriedade (ha)	41,14 (102,57)	107,19 (1.549,99)	0,135
Usos do solo total (ha)	36,90 (91,70)	97,06 (1.423,35)	0,138
Distância (km) estrada	2,16 (2,02)	2,00 (1,75)	0,034
Distância (km) sede municipal	10,57 (5,42)	10,08 (5,04)	0,022
Trecho de drenagem na propriedade (m)	633,92 (1.190,27)	1.392,10 (17.009,54)	0,118
Altitude média (m)	404,09 (311,71)	456,86 (316,47)	<0,001
% propriedade em Área de Conservação	0,55 (5,99)	0,50 (5,05)	0,826
Mata Nativa (%)	16,90 (24,05)	17,34 (23,40)	0,646
Macega (%)	5,01 (10,21)	5,53 (9,22)	0,184
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	6,66 (11,16)	6,98 (10,72)	0,476
Brejo (%)	1,03 (5,00)	0,85 (3,81)	0,332
Afloramento Rochoso (%)	4,07 (12,14)	4,47 (12,41)	0,427
Solo Exposto (%)	1,33 (5,04)	1,54 (5,21)	0,299
Massa D'Água (%)	0,66 (2,67)	0,46 (2,10)	0,036
Extração Mineração (%)	0,09 (1,20)	0,02 (0,25)	0,048
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,13 (1,46)	0,08 (1,14)	0,290
Pastagem (%)	38,47 (33,18)	38,48 (31,48)	0,992
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,314
Área Edificada (%)	0,38 (3,59)	0,25 (2,61)	0,279
Mangue (%)	0,04 (1,00)	0,00 (0,00)	0,172
Outros (%)	2,84 (7,61)	2,14 (4,43)	0,006
Abacaxi (%)	0,00 (0,01)	0,00 (0,06)	0,365
Banana (%)	0,47 (4,52)	0,16 (1,73)	0,024
Café (%)	11,68 (18,60)	13,21 (18,88)	0,042
Cana-De-Açúcar (%)	1,36 (9,22)	0,51 (4,49)	0,003
Coco-Da-Baía (%)	0,35 (2,77)	0,30 (2,43)	0,629
Mamão (%)	0,13 (2,14)	0,13 (2,04)	0,958
Eucalipto (%)	4,97 (13,66)	4,76 (12,24)	0,675
Pinus (%)	0,10 (2,14)	0,04 (0,86)	0,354
Seringueira (%)	0,17 (2,95)	0,16 (3,26)	0,964
Outros Cultivos Permanentes (%)	1,04 (4,64)	0,91 (3,44)	0,452
Outros Cultivos Temporários (%)	2,11 (7,19)	1,68 (5,09)	0,085

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela A4 – Balanceamento - Logit com Reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.204	1.238	
Área da Propriedade (ha)	41,43 (103,81)	107,19 (1.549,99)	0,142
Usos do solo total (ha)	37,14 (92,81)	97,06 (1.423,35)	0,145
Distância (km) estrada	2,15 (2,01)	2,00 (1,75)	0,052
Distância (km) sede municipal	10,59 (5,45)	10,08 (5,04)	0,016
Trecho de drenagem na propriedade (m)	632,56 (1.198,16)	1.392,10 (17.009,54)	0,122
Altitude média (m)	403,76 (311,84)	456,86 (316,47)	<0,001
% propriedade em Área de Conservação	0,56 (6,07)	0,50 (5,05)	0,786
Mata Nativa (%)	16,98 (24,09)	17,34 (23,40)	0,707
Macega (%)	5,03 (10,30)	5,53 (9,22)	0,205
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	6,58 (11,17)	6,98 (10,72)	0,371
Brejo (%)	1,04 (5,05)	0,85 (3,81)	0,300
Afloramento Rochoso (%)	4,10 (12,25)	4,47 (12,41)	0,459
Solo Exposto (%)	1,28 (4,80)	1,54 (5,21)	0,192
Massa D'Água (%)	0,64 (2,62)	0,46 (2,10)	0,054
Extração Mineração (%)	0,09 (1,22)	0,02 (0,25)	0,043
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,14 (1,48)	0,08 (1,14)	0,266
Pastagem (%)	38,41 (33,17)	38,48 (31,48)	0,957
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,321
Área Edificada (%)	0,37 (3,58)	0,25 (2,61)	0,343
Mangue (%)	0,04 (1,02)	0,00 (0,00)	0,166
Outros (%)	2,86 (7,69)	2,14 (4,43)	0,005
Abacaxi (%)	0,00 (0,01)	0,00 (0,06)	0,373
Banana (%)	0,47 (4,58)	0,16 (1,73)	0,024
Café (%)	11,71 (18,69)	13,21 (18,88)	0,048
Cana-De-Açúcar (%)	1,40 (9,35)	0,51 (4,49)	0,002
Coco-Da-Baía (%)	0,34 (2,73)	0,30 (2,43)	0,708
Mamão (%)	0,12 (2,15)	0,13 (2,04)	0,912
Eucalipto (%)	5,00 (13,78)	4,76 (12,24)	0,647
Pinus (%)	0,11 (2,17)	0,04 (0,86)	0,338
Seringueira (%)	0,17 (3,00)	0,16 (3,26)	0,935
Outros Cultivos Permanentes (%)	1,03 (4,66)	0,91 (3,44)	0,501
Outros Cultivos Temporários (%)	2,10 (7,20)	1,68 (5,09)	0,093

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela A5 – Balanceamento - Probit sem Reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.238	1.238	
Área da Propriedade (ha)	39,92 (98,67)	107,19 (1.549,99)	0,128
Usos do solo total (ha)	36,04 (90,01)	97,06 (1.423,35)	0,132
Distância (km) estrada	2,11 (1,98)	2,00 (1,75)	0,153
Distância (km) sede municipal	10,49 (5,39)	10,08 (5,04)	0,052
Trecho de drenagem na propriedade (m)	611,72 (1.156,72)	1.392,10 (17.009,54)	0,107
Altitude média (m)	404,28 (316,73)	456,86 (316,47)	<0,001
% propriedade em Área de Conservação	0,56 (6,36)	0,50 (5,05)	0,801
Mata Nativa (%)	17,18 (24,48)	17,34 (23,40)	0,866
Macega (%)	5,01 (10,10)	5,53 (9,22)	0,179
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração (%)	6,56 (10,96)	6,98 (10,72)	0,338
Brejo (%)	0,95 (4,84)	0,85 (3,81)	0,561
Afloramento Rochoso (%)	3,84 (11,58)	4,47 (12,41)	0,195
Solo Exposto (%)	1,34 (5,29)	1,54 (5,21)	0,325
Massa D'Água (%)	0,62 (2,61)	0,46 (2,10)	0,077
Extração Mineração (%)	0,09 (1,21)	0,02 (0,25)	0,037
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,11 (1,31)	0,08 (1,14)	0,451
Pastagem (%)	38,66 (33,27)	38,48 (31,48)	0,890
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,314
Área Edificada (%)	0,35 (3,42)	0,25 (2,61)	0,392
Mangue (%)	0,04 (1,00)	0,00 (0,00)	0,172
Outros (%)	2,86 (7,64)	2,14 (4,43)	0,004
Abacaxi (%)	0,00 (0,01)	0,00 (0,06)	0,365
Banana (%)	0,49 (4,61)	0,16 (1,73)	0,019
Café (%)	11,87 (18,72)	13,21 (18,88)	0,076
Cana-De-Açúcar (%)	1,29 (8,69)	0,51 (4,49)	0,005
Coco-Da-Baía (%)	0,37 (2,82)	0,30 (2,43)	0,518
Mamão (%)	0,13 (2,14)	0,13 (2,04)	0,954
Eucalipto (%)	4,84 (13,10)	4,76 (12,24)	0,875
Pinus (%)	0,10 (2,14)	0,04 (0,86)	0,365
Seringueira (%)	0,19 (3,08)	0,16 (3,26)	0,813
Outros Cultivos Permanentes (%)	1,02 (4,78)	0,91 (3,44)	0,510
Outros Cultivos Temporários (%)	2,08 (7,16)	1,68 (5,09)	0,103

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.

Tabela A6 – Balanceamento - Probit com Reposição

Estatística	Não Participantes	Participantes	p-valor
n	1.203	1.238	
Área da Propriedade (ha)	39,96 (99,43)	107,19 (1.549,99)	0,133
Usos do solo total (ha)	36,07 (90,76)	97,06 (1.423,35)	0,138
Distância (km) estrada	2,10 (1,98)	2,00 (1,75)	0,177
Distância (km) sede municipal	10,51 (5,41)	10,08 (5,04)	0,043
Trecho de drenagem na propriedade (m)	608,74 (1.161,80)	1.392,10 (17.009,54)	0,111
Altitude média (m)	405,99 (317,58)	456,86 (316,47)	<0,001
% propriedade em Área de Conservação	0,57 (6,45)	0,50 (5,05)	0,760
Mata Nativa (%)	17,26 (24,50)	17,34 (23,40)	0,936
Macega (%)	5,07 (10,20)	5,53 (9,22)	0,244
Mata Nativa em Estágio Inicial de Re- generação (%)	6,50 (10,98)	6,98 (10,72)	0,277
Brejo (%)	0,97 (4,89)	0,85 (3,81)	0,520
Afloramento Rochoso (%)	3,86 (11,69)	4,47 (12,41)	0,215
Solo Exposto (%)	1,29 (5,08)	1,54 (5,21)	0,229
Massa D'Água (%)	0,60 (2,56)	0,46 (2,10)	0,114
Extração Mineração (%)	0,10 (1,23)	0,02 (0,25)	0,033
Campo Rupestre/Altitude (%)	0,12 (1,32)	0,08 (1,14)	0,419
Pastagem (%)	38,53 (33,18)	38,48 (31,48)	0,969
Restinga (%)	0,00 (0,00)	0,00 (0,09)	0,321
Área Edificada (%)	0,33 (3,39)	0,25 (2,61)	0,476
Mangue (%)	0,04 (1,02)	0,00 (0,00)	0,166
Outros (%)	2,88 (7,73)	2,14 (4,43)	0,004
Abacaxi (%)	0,00 (0,01)	0,00 (0,06)	0,373
Banana (%)	0,50 (4,67)	0,16 (1,73)	0,016
Café (%)	11,88 (18,70)	13,21 (18,88)	0,079
Cana-De-Açúcar (%)	1,33 (8,81)	0,51 (4,49)	0,004
Coco-Da-Baía (%)	0,36 (2,78)	0,30 (2,43)	0,585
Mamão (%)	0,12 (2,16)	0,13 (2,04)	0,910
Eucalipto (%)	4,84 (13,21)	4,76 (12,24)	0,866
Pinus (%)	0,11 (2,17)	0,04 (0,86)	0,348
Seringueira (%)	0,20 (3,12)	0,16 (3,26)	0,782
Outros Cultivos Permanentes (%)	1,02 (4,81)	0,91 (3,44)	0,522
Outros Cultivos Temporários (%)	2,08 (7,17)	1,68 (5,09)	0,105

Fonte: Elaboração Própria. Erros padrões em parênteses. Última coluna representa o p-valor do teste de igualdade de médias entre os grupos.