**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Análise econômica do impacto do manejo integrado pragas sobre a
produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo**

Gustavo Ferrarezi Giachini

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2016**

Gustavo Ferrarezi Giachini
Bacharel em Ciências Econômicas

**Análise econômica do impacto do manejo integrado de pragas sobre a produtividade da
cana-de-açúcar no estado de São Paulo**

Orientador:
Prof. Dr. **HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Giachini, Gustavo Ferrarezi

Análise econômica do impacto do manejo integrado de pragas na produtividade da cana-de-açúcar do Estado de São Paulo / Gustavo Ferrarezi Giachini. - - Piracicaba, 2016.

62 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Manejo Integrado de Pragas 2. Produtividade 3. Propensity Score Matching 4. Cana-de-açúcar I.Título.

A minha família, especialmente meus pais, Jorge e Lourdes.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Humberto Francisco Silva Spolador pela oportunidade e confiança depositada em mim, por sua dedicação, ensinamentos e pelo exemplo de pesquisador e pessoa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores doutores Alexandre Nunes de Almeida, Fábio Ricardo Marin e Rogério Edvaldo Freitas pelas contribuições e leitura atenta do trabalho;

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, especialmente ao Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Universidade de São Paulo, em especial aos seus funcionários e corpo docente;

Aos meus pais, Jorge e Lourdes, meu irmão e cunhada, Camillo e Marcela, por terem dado apoio incondicional, amor, amizade, companheirismo, suporte e incentivos necessários para que os objetivos e sonhos se tornassem possíveis;

Aos amigos que ganhei durante o mestrado, em especial Diego (Capivara), Rafael (Shakira) e Augusto (Jussara), pelos debates propostos para auxiliar e melhorar o trabalho, e a amizade duradoura;

Aos amigos de república: Leandro (Tiuzinho), André (Xanxi), Henrique (Chupeta), Augusto (Jussara), Rafael (Shakira), Tiago (Igual), Pedro (Sã), que contribuíram diretamente no desenvolvimento do curso e na minha formação quanto mestre, pela amizade e companheirismo;

Ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA-ESALQ/USP) pela oportunidade em fazer parte da equipe de pesquisadores, em especial a Nicole e Leandro, companheiros de trabalho, pela supervisão apoio e conhecimento compartilhado.

*“Quanto mais aumenta nosso conhecimento,
Mais evidente fica nossa ignorância”.*

John F. Kennedy

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. A EVOLUÇÃO RECENTE DO SETOR CANAVIEIRO NO BRASIL.....	15
2.2. O MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E O IMPACTO DAS PRAGAS NA CANA-DE-AÇÚCAR.....	23
2.3. RESULTADOS EMPÍRICOS DA LITERATURA.....	26
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. ASPECTOS GERAIS	31
3.2. ESTIMAÇÃO DO <i>PROPENSITY SCORE</i>	34
3.3. MODELOS DE PAREAMENTO.....	35
3.4. ESTIMAÇÃO DO EMTT E QUALIDADE DO PAREAMENTO	37
3.5. PROCEDIMENTO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO <i>PROPENSITY SCORE MATCHING</i>	38
4. BASE DE DADOS	39
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	41
5.1. RESULTADOS DO <i>PROPENSITY SCORE MATCHING</i>	41
5.2. ANÁLISE DE ROBUSTEZ.....	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS.....	57
ANEXOS.....	62

RESUMO

Análise econômica do impacto do manejo integrado de pragas na produtividade da cana-de-açúcar do estado de São Paulo

Um dos principais desafios da agricultura, e mais especificamente da produção de cana-de-açúcar no Brasil, visando garantir o abastecimento do mercado doméstico e a competitividade nos mercados internacionais, é manter níveis elevados de produtividade. Embora tenha ocorrido um avanço significativo nas técnicas de produção nas últimas décadas, a produtividade desta lavoura se encontra, conforme alguns estudos disponíveis na literatura, aquém do seu nível potencial. Uma das alternativas para contribuir com o aumento da produtividade é a utilização de novas técnicas, como o Manejo Integrado de Pragas, por exemplo. Os trabalhos que avaliaram recentemente a produtividade do setor sugerem que há ganhos para os adotantes dessa técnica. Para o estado de São Paulo, porém, existem poucos estudos empíricos de avaliação de impacto no setor sucroalcooleiro. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar como a adoção de tecnologia, no caso o manejo integrado de pragas, pode impactar na produtividade da cana-de-açúcar nas Unidades de Produção Agropecuária (UPA) do estado de São Paulo, que constam no Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuárias (Projeto LUPA), do Instituto de Economia Agrícola (IEA). Para isto, utilizou-se o método de *Propensity Score Matching* (PSM) para medir o impacto da adoção tecnológica na produtividade. As estimativas mostraram efeitos positivos e significativos, indicando que o manejo integrado de pragas pode aumentar de 2,9 ton/ha a 4,4 ton/ha, aproximadamente, a produtividade da cana de açúcar. Os resultados indicam, também, que há maiores chances de adotar o manejo integrado de pragas os produtores que apresentaram maiores níveis de instrução, os adeptos de técnicas de análise de solo, de adubação, mudas fiscalizadas entre outros.

Palavras-chave: 1 Manejo Integrado de Pragas; 2 Produtividade; 3 *Propensity Score Matching*; 4 Cana-de-açúcar

ABSTRACT

Economic analysis of the integrated pest management impact on sugarcane productivity in the state of São Paulo

One of the main challenges of agriculture, and more specifically of the production of sugarcane in Brazil, in order to guarantee domestic supply and competitiveness on the international markets, is to maintain high levels of productivity. Although there has been a significant advance in terms of production techniques in recent decades, the sugarcane yield, according to some studies in the literature, below its potential level. One of the alternatives to contribute to the productivity increase is the use of new techniques, such as Integrated Pest Management, for example. Papers that recently evaluated the agricultural productivity suggest that there are gains for the adopters of this technique. For the state of São Paulo, however, there are few empirical studies of impact assessment in the sugar and alcohol sector. Therefore, the objective of this study was to evaluate how the adoption of technology, in the specific case of the integrated pest management, can impact sugarcane's productivity in the Agricultural Production Units (UPA) of the State of São Paulo, which were in the Census Survey Of Agricultural Production Units (LUPA Project), published by the Institute of Agricultural Economics (IEA). For this purpose, the Propensity Score Matching method was implemented to measure the impact of technological adoption on productivity. Results suggested positive and significant effects, indicating the Integrated Pest Management increases, approximately, the sugarcane productivity between 2,9 ton/ha to 4,4 ton/ha, according the empirical model specification. The analysis also highlighted a greater chance to adopt the integrated pest management by producers with highest levels of education, and the adopters of techniques of soil analysis, fertilization, and supervised seedlings.

Keywords: 1 Integrated Pest Management; 2 Productivity; 3 Propensity Score Matching; 4 Sugarcane

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUÇÃO MUNDIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS PRINCIPAIS PAÍSES.	15
FIGURA 2. PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES (1990-2014).....	16
FIGURA 3. RENDIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR HECTARE, GRANDES REGIÕES (1990-2015)	17
FIGURA 4. EVOLUÇÃO DA ÁREA PLANTADA E PRODUÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO (2000 A 2014).....	18
FIGURA 5. MAPA DA EXPANSÃO DA CULTURA CANAVIEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO POR MUNICÍPIOS: PERCENTUAL DA ÁREA TOTAL DO MUNICÍPIO DESTINADA À CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (1990/2008/2014).....	22
FIGURA 6. HISTOGRAMA DA ÁREA DE SUPORTE COMUM.....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS	40
TABELA 2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS	42
TABELA 3. MATRIZ DE CORRELAÇÃO	43
TABELA 4. RESULTADOS DO MODELO BINÁRIO LÓGITE.....	44
TABELA 5. PSM COM PAREAMENTO ONE-TO-ONE (NNM 1) SEM REPOSIÇÃO	46
TABELA 6. TESTE DE QUALIDADE DO PSM COM PAREAMENTO NNM 1-1 SEM REPOSIÇÃO..	47
TABELA 7. TESTE CONJUNTO.....	49
TABELA 8. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	50
TABELA 9. ESTATÍSTICAS DE BALANCEAMENTO ENTRE ADOTANTES E NÃO-ADOTANTES DO MIP	52
TABELA 10. TESTE CONJUNTO DE BALANCEAMENTO PARA OS DIFERENTES MÉTODOS DE PAREAMENTO	53
TABELA 11. NÚMERO DE UPAS EÁREA CULTIVADA COM CULTURAS SELECIONADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO	62

1. INTRODUÇÃO

A agroindústria brasileira de cana-de-açúcar passa por um período de expectativa de ganhos de eficiência e produtividade, a partir dos avanços em pesquisa e inovação, técnicas de cultivos, mecanização do plantio, desenvolvimento de equipamentos e insumos industriais. Em meio a este cenário, as condições climáticas e as dificuldades econômicas dificultam o avanço da produtividade na prática, tornando-se um desafio para as políticas públicas voltadas para o setor (SANTOS, 2016)

O Brasil se destaca como o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, com média de 451 milhões de toneladas no período 1990-2014, tendo atingido em 2013 a produção de 734 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2016). No contexto nacional, o estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar, tendo produzido na safra 2015/16 aproximadamente 367,58 milhões de toneladas, ou 55,22% da produção sucroalcooleira nacional (CONAB, 2016). De acordo com Machado e Habib (2009), a expansão da cultura canavieira avançou nas áreas de pastagens, de cultivo de citros, e de cerrados nas regiões do triângulo mineiro e Noroeste paulista.

Com relação à liderança do Brasil na produção de cana-de-açúcar, Parra, Botelho e Pinto (2010) avaliaram que essa produção poderia ser ainda maior, se não fossem os insetos-pragas que atacam as estruturas da cana-de-açúcar, causando significativas reduções da produtividade. Para Cortez (2010), a liderança foi atingida graças às significativas reduções do custo de produção, resultantes dos ganhos de produtividade, e eficiência agrícola proporcionado no passado pelo Proálcool.

Nos últimos anos, a demanda por açúcar e etanol cresceu significativamente. No caso do açúcar, o aumento da demanda pode ser explicado pelo aumento da renda, e pela expansão dos processos de urbanização em economias emergentes. Para o etanol, o crescimento se deve à maior preocupação com as questões ambientais, e do advento dos veículos com motor biocombustível no mercado brasileiro (CHAGAS *et. al.*, 2012).

Segundo Hoffman (2006), o Brasil é o único país do mundo onde a maior parte dos combustíveis utilizados no transporte é proveniente de fontes renováveis de energia, tal como o etanol. Além disso, o Brasil possui vantagens comparativas na produção de etanol, fator responsável por promover o crescimento econômico, e ajudar na redução do uso de combustíveis fósseis.

Santos (2016) observou que, aproximadamente, 51% das regiões produtoras selecionadas em seu trabalho apresentaram produtividade abaixo de 72,5 t/ha sendo, portanto, classificadas como regiões de baixa a média-baixa produtividade. Destaca-se a importância de políticas públicas voltadas a esta realidade, que compreende 27% da área colhida no Brasil (22% da produção) na média do período 2010-2013. Assim, estímulos à adoção de variedades mais produtivas de cana-de-açúcar, e técnicas modernas de produção podem ser direcionadas às lavouras, e produtores, com produtividade abaixo da média.

A cultura da cana-de-açúcar é pouco agressiva ao meio ambiente quanto ao uso de defensivos químicos que, em comparação com outras culturas, como soja/café e citros, por exemplo, utilizam de sete e cem vezes mais. Na utilização de produtos químicos, deve-se considerar a manutenção do equilíbrio biológico, pois os nematoides diminuem a produtividade da cultura quando presentes em número elevado. Neste sentido, o Manejo Integrado de Pragas (M.I.P) possibilita o uso racional de inseticidas, dado que sua aplicação é feita apenas em áreas afetadas, reduzindo os riscos ao homem e ao meio ambiente. (BENEDINI e ARRIGONI, 2008).

A importância da cana-de-açúcar para o desenvolvimento econômico do Brasil tem incentivado estudos sobre a produtividade e eficiência do setor. Conforme Shikida, Azevedo e Vian (2011) a cadeia agroindustrial canavieira foi pioneira quanto à adoção de inovações tecnológicas no país.

A estrutura do setor canavieiro passou por mudanças significativas nos últimos anos, especialmente em relação à área plantada e número de produtores de cana-de-açúcar. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016) - a área total plantada de cana aumentou 135% no Brasil, no período de 1990 a 2015, enquanto que no estado de São Paulo o aumento foi de aproximadamente 208%, no mesmo período. Com o aumento expressivo da área plantada, houve aumento de produtores de cana na principal região produtora do país. Segundo o Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo – Lupa (2009), o aumento registrado do número de unidades de Produção Agropecuária (UPA) de cana-de-açúcar foi de 42%, entre as safras de 1995/96 e 2007/08, quando passou de 70.111 para 99.799 UPAs, enquanto que o aumento da área registrada entre as duas safras foi de 90% (2,8 milhões para 5,5 milhões de hectares (Tabela A1).

Dada a relevância da cultura da cana-de-açúcar para a economia brasileira e paulista, as mudanças na estrutura de produção merecem uma avaliação dos impactos econômicos, de modo que os resultados possam contribuir com políticas públicas e ações de agentes

econômicos envolvidos com o setor. Este estudo pretendeu analisar o impacto potencial da adoção do manejo integrado de pragas (M.I.P) sobre a produtividade do setor.

A literatura sobre economia agrícola, como já apresentado por Bacha (1992), tem enfatizado a importância da agricultura para o desenvolvimento econômico, e o papel da mudança técnica no setor agrícola. Nesse contexto, Bacha (1992) mencionou os trabalhos de Jorgenson e Ruy Miller Paiva que abordaram a questão da inovação tecnológica no setor agrícola; conforme o primeiro autor, o salto tecnológico, que garante o aumento de produtividade da agricultura, é o mecanismo que permite a contínua transferência de mão-de-obra do setor rural para o setor urbano-industrial, sem deterioração da relação de trocas do último setor, enquanto que no trabalho do segundo autor, a adoção de tecnologia moderna foi tratada como um problema microeconômico, uma vez que envolve uma decisão direta dos agricultores, sendo que a vantagem econômica da técnica moderna é medida pelo custo/benefício quando confrontado com a técnica tradicional.

Os potenciais efeitos do manejo integrado de pragas têm sua importância evidenciada quando se leva em conta os danos gerados pelas pragas à produtividade da lavoura. Em função do aumento da demanda por biocombustível nos últimos anos, por exemplo, preocupações com a produtividade da cana-de-açúcar tem ganhado destaque. No Brasil, há uma escassez de estudos empíricos com avaliações de impacto para a cana-de-açúcar em termos econômicos, como é o objetivo do trabalho. Portanto, esta pesquisa pretende preencher a lacuna existente fazendo uso de dados primários, o que permite a análise econômica da adoção de tecnologia na produtividade do setor.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo contribuir com a literatura sobre o impacto de técnicas modernas, mais especificamente do manejo integrado de pragas, na produtividade de cana de açúcar no estado de São Paulo, aplicando a metodologia de *propensity score matching*, utilizando os microdados do Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA), produzido pelo Instituto de Economia Agrícola no ano safra 2007/2008 (último período com informações disponíveis).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A evolução recente do setor canavieiro no Brasil

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, superando a Índia e a China em produção, conforme a figura 1. Segundo dados da FAOSTAT (2016), atualmente o Brasil é responsável por 38,8% da produção mundial de cana-de-açúcar, e a Índia, segundo maior produtor, por 18,5%. Na década de 1980, o Brasil se tornou o maior produtor de cana-de-açúcar, ultrapassando Índia e Cuba que, até então, eram os dois maiores produtores mundiais. O aumento da produção foi estimulado pela criação do Proálcool, e a crise do petróleo na década de 1970, pois, segundo Shikida e Bacha (1999), o consumo do Brasil dependia em 80% do petróleo importado, e com o desequilíbrio nas contas externas, em parte causado pelo aumento dos preços internacionais do petróleo, incentivou parte dos empresários, com o auxílio do governo, a buscar fontes alternativas para a substituição de alguns derivados do petróleo. Assim, programas como o Proóleo, o Procarvão e o Proálcool foram criados, sendo o último com maior apoio e resultado.

Figura 1. Produção Mundial de Cana-de-açúcar dos principais países.

Fonte: FAOSTAT (2016)

A produção de cana-de-açúcar no Brasil manteve o crescimento da produtividade de 1990 até 2008 quando, então, teve uma redução, e voltou a patamares próximos dos principais produtores, conforme a figura 2. Ressalta-se ainda que, a partir de 2001, o Brasil superou a produtividade da Índia. A safra 2007/08, objeto de estudo da dissertação, apresentou o mais elevado nível de produtividade no ano de 2008, conforme a figura 2.

Figura 2. Produtividade de cana-de-açúcar dos principais países produtores (1990-2014)
Fonte: FAOSTAT (2016)

Também se observam as diferenças de produtividade da cana-de-açúcar quando se compara as regiões brasileiras. A figura 3 apresenta os níveis de produtividade da cana nas grandes regiões brasileiras, medidos pelo rendimento médio da produção por hectare.

A redução do nível de produtividade em 2008 ocorreu de forma mais significativa nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Notam-se ciclos de aumento e queda de produtividade no período analisado; segundo Santos (2016), as quedas na produtividade no período 2008 – 2011 deveram-se às dificuldades de adaptação à colheita mecânica, clima (geadas, secas e chuvas), envelhecimento dos canaviais, e a defasagem tecnológica e de manutenção das lavouras.

Figura 3. Rendimento médio da produção de cana-de-açúcar por hectare, Grandes Regiões (1990-2015)

Fonte: IBGE (2016). Elaboração própria

A diferença de rendimento médio por hectare é, quando se comparam os estados brasileiros, mais significativa. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) – Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) – as estimativas para as safras 2007/08 e 2008/09, oscilam entre 38 toneladas por hectares em alguns municípios do Nordeste até mais de 120 ton/ha em municípios de São Paulo e Paraná, dependendo da idade do canavial.

Embora muitas regiões tenham condições climáticas semelhantes, existe uma grande disparidade apresentada na produtividade das culturas. A diferença entre a produtividade notada e o melhor que pode ser alcançado, usando toda tecnologia disponível, é denominada de lacuna de rendimento (“*yield gap*”). Os melhores rendimentos obtidos dependem da capacidade dos agricultores em ter acesso a mudas, água, nutrientes, manejo de pragas, solos, biodiversidade entre outros. Porém, manter ou aumentar a produtividade depende de uma contínua inovação para controlar ervas daninhas, doenças, insetos e outras pragas, à medida que estes criam resistência aos diferentes tipos de controle, ou se dispersam para novas regiões (GODFRAY et al. 2010).

Neste contexto, a produtividade da cana-de-açúcar tem sido objeto de estudo nos últimos anos e, conforme descrito por Marin (2014), as definições associadas aos níveis de produtividade agrícola referem-se a: 1) Produtividade real: é a produtividade alcançada por

usinas sob condições operacionais; 2) Produtividade potencial: àquela obtida por um genótipo adaptado sob condições ótimas de cultivo, sem fatores limitantes ou redutores (pragas, doenças, nutrientes) ao crescimento, tornando-se específico em cada localidade por causa do clima; e 3) a produtividade atingível, dada pela produtividade obtida por um genótipo adaptado sob condições reais de cultivo, influenciada negativamente por fatores limitantes ou redutores do crescimento. Assim, o *yield gap* é a diferença entre a produtividade atingível (cerca de 70% a 80% da produtividade potencial) e a produtividade real. No estudo, a eficiência média atual da produção de cana-de-açúcar no Brasil corresponde a 44%, um *yield gap* médio de 41 toneladas/hectare. Marin e Carvalho (2012) avaliaram que os canaviais paulistas parecem render em torno de 50% do potencial de produção.

Os aumentos da área e da produção no período de 1990 a 2014 no estado de São Paulo são ilustrados pela Figura 4. No período analisado, a área destinada à produção de cana-de-açúcar no estado passou de aproximadamente 1.812 mil hectares para 5.566 mil hectares, segundo dados da pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2016). Quanto à quantidade produzida, o aumento foi de 138 milhões de toneladas em 1990, para 401 milhões de toneladas em 2014.

Figura 4. Evolução da Área Plantada e Produção no Estado de São Paulo (2000 a 2014)

Fonte: Elaboração própria do autor com base nos dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2016).

De acordo com Parra, Botelho e Pinto (2010), o aumento da área da cana-de-açúcar trouxe para o debate uma preocupação com a produção sustentável da cultura, e com a aplicação indiscriminada de produtos químicos (especialmente pulverização aérea), que pode provocar desequilíbrio no agro ecossistema, e ajudar no aparecimento de novas pragas.

A expansão da cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo desperta muita discussão pelos impactos ambientais, sociais e econômicos gerados. De acordo com Cano e Paulillo (2016), a expansão ocorreu de forma desuniforme, influenciada por condições climáticas, pela proximidade de mercados, e pela disponibilidade e custo das terras, e competição com outras culturas.

Com a crise do café em 1929, a cana-de-açúcar ganhou destaque, e começou um processo de expansão no estado de São Paulo, baseado num modelo mais concentrado de produção, caracterizado por grandes propriedades e grandes usinas. Esse modelo permitiu que fosse aplicado maior uso de tecnologia e gerenciamento, aumentando a competitividade da produção no estado. Entre as décadas de 1930 e 1970, Pernambuco representava 40% da produção total de açúcar, que foi reduzida para 20% no final do período, enquanto que o estado de São Paulo aumentou de pouco mais de 10% para quase 50% (CORTEZ, 2010). No início da década de 1930, várias leis municipais, estaduais e federais tornaram obrigatória a adição de etanol na gasolina, que estabeleciam a adição de 5% a 10% de etanol à gasolina (Marcolin, 2008). No início da década de 1970, o mercado do etanol no Brasil era escasso, apesar da importância da cana-de-açúcar para o setor agrícola do país. Nesse contexto, em 1975 o governo criou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), responsável por um novo mercado de biocombustíveis, que foi rigidamente controlado até 1999, o que permitiu às empresas do setor realizar investimentos de longo prazo (MORAES, 2011). Segundo estudo feito por Shikida e Bacha (1999), no período 1975 a 1995, o país foi responsável, em média, por 8,7% da produção mundial, e consumiu, em média, 6,5% do total mundial. Quanto às exportações brasileiras de açúcar, estas corresponderam no período a 8% do total exportado mundialmente, colocando o Brasil entre os cinco maiores exportadores.

O choque do petróleo na década de 1970 incentivou a procura por fontes alternativas de energia, e o Brasil, a partir da cana-de-açúcar, implementou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). O programa trouxe ganhos econômicos por reduzir a dependência do petróleo, aumentando a produção de etanol. No entanto, no final da década de 1980, a queda dos preços internacionais do petróleo colocou o programa em crise, e um novo incentivo ao etanol aconteceu somente em 2003, com o lançamento de carros *flex-fuel*, que aumentou a

produção de cana-de-açúcar nacional, e a importância do setor para a economia brasileira (MORAES e BACCHI, 2014).

O aumento do preço do petróleo, em meados da década de 1970, criou um ambiente favorável ao uso do etanol como substituto do combustível fóssil (gasolina), tanto para o equilíbrio do balanço de pagamentos da economia, quanto para os usineiros, que diante da crise do açúcar viram o etanol como alternativa para aumento de renda (Moraes e Bacchi, 2014). Shikida e Bacha (1999) destacaram o papel do Estado em minimizar riscos, virando o capitalista do programa. Segundo os autores o Proalcool dividiu-se em três principais fases: 1) expansão moderada de 1975 a 1979, com investimentos do governo (75%) e setor privado (25%); 2) expansão acelerada, 1980 a 1985, com o aumento da participação de etanol anidro na gasolina, e a alavancagem da indústria de máquinas e equipamentos para a agroindústria canavieira; e 3) desaceleração e crise, de 1986 a 1995, caracterizado pela constância da produção de etanol e uma queda na produção de veículos a álcool.

Na década de 1990 houve um processo de mudança institucional, por meio de investimentos públicos e privados em pesquisa, desenvolvimento e inovação, que viabilizou a evolução da reciclagem e reuso da água, do controle biológico, e da mecanização do corte da cana-de-açúcar. Com os avanços tecnológicos, a mão-de-obra nos processos de plantio, corte e carregamento foi dispensada, e as queimadas começaram a se reduzir. A partir de 2006, surgiram os protocolos agroambientais, com o intuito de minimizar os impactos ambientais da cana-de-açúcar paulista, por meio da colheita mecanizada. (TORQUATO *et. al.* 2008).

A crescente demanda por fontes energéticas limpas tem fortalecido as ligações entre energia e mercado agrícola, e expandido a chamada agro energia, isto é, a produção de combustíveis para transporte a partir dos produtos agrícolas, como etanol e biodiesel, por exemplo. No caso do etanol, a principal matéria-prima é a cana-de-açúcar e o milho, enquanto que para o biodiesel, as principais fontes de matéria-prima são a soja, canola e dendê (FAO, 2008).

Conforme o estudo de Cano e Paulillo (2016), a expansão da cultura da cana-de-açúcar num período de 30 anos, correspondente às safras 1982/83 a 2012/13, foi de 250%. A intensidade da ocupação da cana, ao longo da década de 1990, se consolidou com as EDRs¹ da região central do Estado, principalmente Ribeirão Preto, Jaú, Piracicaba, Araraquara e Jaboticabal, que passaram apresentar intensidade muito alta de ocupação. O período seguinte,

¹ Os Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR) são organizações territoriais menores que as regiões administrativas do estado, porém maiores que os municípios e microrregiões. O estado de São Paulo está organizado em 40 organizações territoriais denominadas EDRs, segundo IEA (2014).

1999/00 a 2004/05, consolidou as tendências verificadas na década de 1990. Entre os anos safra 2004/05 e 2012/13, a cana passou a ocupar quase 25% da área total do estado, utilizando de forma intensa terras antes não ocupadas.

Na figura 5 pode ser observada a expansão de áreas destinadas à cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo nos anos de 1990, 2008 e 2014. Nota-se um aumento de municípios com mais de 60% de cana plantada, principalmente em áreas do noroeste e oeste paulista. O estado de São Paulo corresponde a aproximadamente 56% do total de cana-de-açúcar produzido no país, gerando por volta de 66,8% do valor bruto da produção agrícola total do estado, levando em consideração as lavouras temporária e permanente, de acordo com dados da PAM (IBGE, 2016).

No período entre 1988 e 2003, conforme Miranda (2010), a cultura da cana-de-açúcar ganhou uma nova dinâmica territorial no estado de São Paulo, e começou a expansão para as regiões situadas mais a Oeste, como a região de Assis, e ocupando áreas de pastagem e de culturas anuais. A área de expansão da cana-de-açúcar no período foi de 1,3 milhões de hectares, principalmente sobre 596.345 ha de culturas anuais, 474.743 ha de pastagens, e 157.680 ha de fruticultura.

Área Plantada de Cana-de-Açúcar. Fonte: Elaboração própria

Área Plantada de Cana-de-Açúcar. Fonte: Elaboração própria

Área Plantada de Cana-de-Açúcar. Fonte: Elaboração própria

Figura 5. Mapa da expansão da cultura canavieira no Estado de São Paulo por Municípios: percentual da área total do município destinada à cultura da cana-de-açúcar (1990/2008/2014).

Fonte: Elaboração própria do autor com base nos dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2016).

2.2. O Manejo Integrado de Pragas e o impacto das Pragas na cana-de-açúcar

A compreensão do controle biológico e manejo integrado de pragas no Brasil requer uma análise retrospectiva deste tipo de prática, considerando aspectos do uso de agentes químicos. Conforme Parra (2011), os esforços para adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP) no planejamento agrícola vêm mostrando mudança positiva no emprego das técnicas de cultivo, com contribuições para o maior uso do controle biológico, buscando uma agricultura sustentável e adequada ao clima do Brasil.

No final do século XIX e começo do século XX, na ausência de técnicas avançadas e poderosos pesticidas na agricultura, especialistas e estudiosos em proteção das culturas basearam-se no conhecimento da biologia das pragas e de práticas culturais, no intuito de produzir estratégias com múltiplas táticas de proteção de plantas que, em alguns casos, foram precursores dos sistemas modernos de manejo integrado de pragas (GAINES, 1957). O controle de pragas foi entendido por Kogan (1998) como o conjunto de ações tomadas para evitar, ou atenuar, o impacto de pragas nas culturas.

O manejo integrado teve início com o controle das pragas, que se estendeu do início da década de 1930 até a década de 1970. Na época, o objetivo principal do controle era o de erradicar os insetos e pragas, ou seja, eliminar completamente o agente nocivo. Num conceito mais moderno, a preocupação do manejo integrado está na redução da população inicial, e manutenção da população em equilíbrio com as plantas e o meio ambiente. O controle de pragas baseava-se em um método de aplicação continuada de inseticidas em larga escala, por apresentar custo reduzido. Contudo, a prática se tornou inadequada por provocar um desequilíbrio no agro ecossistema, além das espécies terem se tornado resistentes à prática utilizada (ZAMBOLIN e JUNQUEIRA, 2004).

Do total de aproximadamente um milhão de espécies de insetos, cerca de 10% são pragas que prejudicam as plantas, os animais e o próprio homem. Os prejuízos podem ser quantitativos ou qualitativos, dependendo da espécie e da densidade populacional da praga, da estrutura vegetal atacada e da duração do ataque. Tais danos diferenciam-se entre países, influenciados pelo clima, técnicas agronômicas utilizadas e características socioeconômicas. O Brasil, por ser um país tropical, e com grandes áreas de cultivo de diversas culturas, apresenta sérios problemas com a questão da praga (GALLO et al, 2002).

Segundo Zambolin e Junqueira (2004), com os avanços obtidos no estudo da teoria do controle biológico, foi possível nas décadas de 1950 e 1960 criar o conceito integrado de

controle de pragas, cujo objetivo é empregar com maior amplitude as táticas de controle dos agentes nocivos. De acordo com Stern et al. (1959), o controle integrado é “o controle aplicado de pragas que combina e integra os controles químico e biológico”.

Neste período começou a surgir uma consciência ecológico-ambiental, devido ao insucesso dos programas de erradicação química, que expandiu o conceito do controle para manejo integrado de pragas. Assim, o controle integrado acaba ocorrendo em função das considerações econômicas, enquanto que o manejo integrado leva em consideração aspectos ecológicos, e principalmente sociológicos, em busca do bem-estar da sociedade ao consumir produtos agrícolas produzidos. No final da década de 1960 foi introduzido o conceito de limiar de dano econômico à cultura, entendido como a densidade populacional de uma praga capaz de causar um dano econômico (prejuízo) igual ao seu custo de controle. (ZAMBOLIN e JUNQUEIRA, 2004).

Para Kogan (1998), o Manejo integrado de pragas abrange duas faces distintas: a integração e o manejo. Por um lado, a integração pode ser entendida como o uso de múltiplas táticas de proteção de plantas, enquanto que o manejo refere-se a um conjunto de regras (baseada e considerações econômicas, sociais e ambientais) que auxiliam a tomada de decisão.

De acordo com Gallo et al (2002), o MIP é o conjunto de medidas que procura manter as pragas abaixo do nível de dano econômico considerando, porém, alguns critérios econômicos, sociais e ecológicos. O avanço do método no Brasil, com o conhecimento das pragas, dos inimigos naturais e de amostragem, permitiu uma redução no uso de inseticidas com a utilização do MIP, dado a evolução da resistência das pragas aos pesticidas. `

Nas décadas de 1980 e 1990 houve importantes avanços em pesquisa sobre controle biológico e manejo integrado das pragas. Com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), tornou-se possível o desenvolvimento de profissionais na área de entomologia com estudos sobre o controle biológico. As universidades também desempenharam papel fundamental no desenvolvimento dessas tecnologias, contribuindo para o avanço do manejo integrado de pragas no Brasil (CRUZ, 2002).

De acordo com Cruz (2002), o controle biológico e o MIP, combinados ou não, enfrentam alguns problemas que surgiram pela falta de conhecimentos. O número e a variedade de fatores passíveis de manejo são ilimitados, porém a chave para qualquer um deles está no conhecimento completo do ambiente físico e biótico, da biologia, ecologia, comportamento e genética, tanto das pragas quanto dos inimigos naturais. No entanto, o nível

econômico de dano, ou limiar de dano, é um pré-requisito fundamental antes da estimativa do valor potencial dos fatores.

O nível de dano econômico é definido como a menor população da praga capaz de causar dano econômico, enquanto limiar de dano refere-se a uma população menor com relação à qual algum tipo de ação deve ser tomado, para não deixar que a praga atinja o nível de dano econômico (STERN et al 1959). Ambos são importantes para o manejo de parasitoides e predadores, e o dano, conforme Pedigo (2001), é entendido como a redução na produção, sendo imprescindível, e de difícil conceituação, a função de dano.

Os parasitoides e predadores não podem evitar todo dano provocado pelo inseto, devido à busca do equilíbrio no ecossistema. Assim, deve ser aceito um nível de tolerância para que a densidade da praga permaneça em níveis baixos, e os níveis de dano econômico e de limiar de dano econômico mudarão à medida que as condições mudarem. Apesar das dificuldades, é importante que eles sejam determinados quando se pretende avaliar o sucesso do controle biológico. Se o nível de dano econômico é relativamente alto, a amplitude das opções de controle são maiores do que se fossem baixo ou então nulo (CRUZ, 2002).

Para analisar a perda de produtividade no setor, é necessário definir o tipo de relação existente entre infestação de pragas e produtividade. A intensidade da infestação é responsável por afetar o nível de produtividade da cultura, e está ligada a três efeitos: o número de pragas existentes; o estágio de desenvolvimento; e a duração do ataque das pragas. Assim, a presença de uma praga na cultura causa um tipo particular de dano, que influencia na probabilidade e na dimensão das perdas de produtividade (DENT, 2000).

Portanto, na utilização do manejo integrado de pragas o que se procura, segundo Zambolin e Junqueira (2004), é a obtenção de maior estabilidade na produção, a padronização de procedimentos de controle integrado, a exploração de novas áreas agricultáveis, maior rapidez e flexibilidade na resposta a surtos epidêmicos de pragas e patógenos, e uma menor agressão ao meio ambiente.

2.3. Resultados empíricos da literatura

Estudos que abordaram uma avaliação de impacto econômico do surto de pragas na agropecuária são escassos na literatura nacional. Trabalhos dessa natureza são importantes por fornecerem informações aos tomadores de decisão a respeito da produção futura de uma cultura em específico, do ponto de vista econômico, ambiental e social. Na literatura internacional foram feitos estudos para países que apresentam uma economia mais dependente da produção agropecuária, tal como Filipinas e Honduras, e alguns países da África. Assim, apresenta-se a seguir alguns trabalhos, que evidentemente não esgotam a literatura a respeito do tema, sobre o impacto das pragas na produção e produtividade, e também o impacto do uso de tecnologia moderna na atividade econômica da lavoura.

Dinardo-Miranda et al. (2004) analisaram a magnitude dos danos causados pela cigarrinha das raízes à cana-de-açúcar. No estudo, a aplicação de inseticidas para eliminar a praga resultou em incrementos da produtividade, em decorrência da redução populacional da praga. Em outro estudo, Dinardo-Miranda e Gil (2007) avaliaram o nível de dano econômico provocado pela praga na cana-de-açúcar. O tratamento proposto no trabalho resultou em aumento da produtividade de colmos e de açúcar total recuperável (ATR), fato atribuído ao melhor controle inicial da praga, que proporcionou maior lucro.

A avaliação do impacto de políticas públicas tem ganhado destaque nos últimos anos, especialmente as políticas voltadas para a agricultura. Bravo-Ureta et al. (2011) examinaram o impacto do sistema produção sustentável da agricultura na América Central. O trabalho dos autores propôs avaliar o impacto que o investimento no programa MARENA em Honduras poderia ter sobre o valor bruto da produção. Para isso, foi utilizada a metodologia do *Propensity Score Matching* com *Difference-in-Differences*, como forma de reduzir o viés de seleção existente nas variáveis observadas. Os resultados apontaram para um maior valor bruto da produção dos beneficiários do programa, em relação ao não beneficiários. Os resultados também sugeriram a inexistência de efeitos transbordamento (*spillover effects*).

Villano et al. (2015) utilizaram dados *cross-section* de uma pesquisa feita nas Filipinas, “*Rice Based Household Survey*”, para 30 províncias responsáveis por 70% da produção total de arroz. O principal objetivo do estudo foi analisar os efeitos da tecnologia e da capacidade gerencial sobre a produtividade dos agricultores de arroz. Para isso, foi

utilizado um procedimento de vários estágios, a fim de controlar o viés existente entre as variáveis observáveis e não observáveis. A metodologia do *Propensity Score Matching* (PSM) foi aplicada para selecionar uma amostra com produtores que adotaram a tecnologia de Certificação de Sementes (CSs), e outra amostra dos que não adotaram a mesma tecnologia. Os autores mostraram que o impacto do uso de sementes certificadas na produtividade foi positivo e significativo para os adotantes da tecnologia. Fatores como escolaridade, experiência e acesso a crédito aumentaram a chance do produtor utilizar o programa de certificação de sementes.

Como a adoção de tecnologia é um processo não aleatório, o uso do *propensity score matching* possibilita a construção do grupo contrafactual, baseado em características observadas do indivíduo, produtor ou família, permitindo criar uma situação na qual não há correlação entre adotar ou não certa tecnologia, e os atributos dos indivíduos/produtores, de modo que se resolve o problema do viés de autosseleção. Wu et al. (2010) avaliaram o impacto da adoção de tecnologia na agricultura no bem-estar dos produtores, mais especificamente na renda. Foram encontrados efeitos positivos para a tecnologia de arroz de planalto (“upland rice technology”) no bem-estar dos produtores de uma certa região da China, medida pelo aumento na renda e pela redução da pobreza. Notou-se que o efeito positivo da tecnologia diminuiu ao longo do tempo, sugerindo um limite para o impacto de certas tecnologias na renda do produtor, e a necessidade de se ter inovações constantes de tecnologia na agricultura.

Pufahl e Weiss (2009) avaliaram o impacto do programa *agri-environment* (AE) na produtividade, despesa com produtos químicos agrícolas (pesticidas, fertilizantes), na área cultivada entre outros. O programa compensa os agricultores capazes de adotar tecnologias favoráveis ao meio ambiente na produção. O resultado encontrado demonstrou que a participação no programa gerou resultados positivos na área cultivada, além de ter reduzido a compra de produtos químicos agrícolas.

Mendola (2006) analisou o possível impacto da adoção de tecnologia na agricultura na redução da pobreza, através de uma abordagem empírica entre as mudanças tecnológicas da revolução verde, e o bem-estar dos pequenos produtores domiciliares em duas regiões de Bangladesh. O estudo analisou se a adoção de sementes tecnificadas faz com que os agricultores com poucos recursos melhorem sua renda e diminuam a chance de ficar abaixo da linha de pobreza. Foram encontrados resultados significativos e positivos para o problema descrito.

Alguns estudos de avaliação de impacto na agricultura brasileira têm focado nas políticas agrícolas. Paredes (2016) avaliou os dados do Tribunal de Contas da União (TCU) de 2003 a 2005 sobre os produtores de milho no estado do Paraná, em uma análise com diversas metodologias quase-experimentais de avaliação de impacto quantitativa, inclusive PSM, buscando verificar a relação existente entre os adotantes e não adotantes do programa Proagro Mais sobre o montante de crédito por hectare concedido. O estudo apontou para efeitos negativos do tratamento sobre os tratados, ou seja, o grupo de controle (não adotantes do Proagro mais) teve um valor maior de crédito por hectare em relação aos beneficiários do programa.

Santos et al. (2016) analisaram efeitos de um programa estadual paraense de redução do desmatamento, Programa Municípios Verdes (PMV), nos municípios brasileiros que compõem a Amazônia legal, a partir de dados em painel no período de 2010 a 2013. O estudo testou a hipótese de que os incentivos e vantagens oferecidos por participar do programa (maior segurança jurídica, acesso ao crédito e incentivos fiscais) contribuam para que as cidades se esforcem em manter o desmatamento em níveis baixos. Para isso, utilizou-se a metodologia do PSM com Diferença nas diferenças (DD) para construir um grupo de tratamento (participantes do PMV) e um grupo de controle (não participantes do PMV). Os resultados sugerem que nem todos os municípios que participaram do programa mantiveram baixas taxas de desmatamento. Os efeitos positivos do programa foram apenas para os municípios que apresentaram de médio a baixo risco de desmatamento, sugerindo efetividade do programa em cidades com margem para mudar os indicadores ambientais.

Outro estudo relacionado com as políticas agrícolas foi realizado por Garcias (2014). O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da restrição ao crédito rural sobre a produtividade da terra e do trabalho para os agricultores familiares no Brasil. Com base nos dados por município do Censo Agropecuário de 2006, foi possível utilizar as técnicas de emparelhamento por escore de propensão (PSM) e mostrou que municípios que utilizaram o crédito apresentaram maior produtividade da terra e do trabalho quando pertencentes ao quarto quartil, de acordo com um critério estabelecido para dividir a população em quartis.

Foram encontrados na literatura trabalhos acerca da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil. Santos (2016) analisou as diferenças de produtividade no cultivo da cana-de-açúcar no país, bem como os possíveis impactos de avanços em diferentes intensidades. O autor notou uma disparidade de rendimento médio por área, com diferenças consideráveis entre estados, microrregiões e municípios com produtividade variando em torno de 40 toneladas/hectare e 120 t/ha. Assim, este tipo de resultado permitiria estímulos para a adoção

de técnicas modernas de produção, que poderiam ser direcionados para as regiões onde as lavouras têm produtividade mais baixa.

Chagas, Toneto-Jr e Azzoni (2012), por meio de um método *propensity score* espacial, identificaram os possíveis impactos que a produção de cana-de-açúcar exerce sobre os indicadores sociais das regiões produtoras por meio do Índice de Desenvolvimento Humano municipal (IDH-M). Os resultados sugeriram que a presença do setor nas localidades não é fator determinante das condições sociais, e possivelmente para as regiões produtoras de cana-de-açúcar os benefícios não sejam tão evidentes, comparados com o país como um todo.

Enquanto no Brasil boa parte da literatura tem estudado o impacto de políticas agrícolas, os estudos internacionais têm apresentado resultados sobre o impacto da adoção de novas tecnologias na agricultura. Dessa maneira, este estudo pretende contribuir com a literatura nacional da área, adicionando um modelo empírico de avaliação de impacto da adoção tecnológica na produtividade da cana-de-açúcar. A próxima seção trata com maiores detalhes a metodologia proposta para esta avaliação.

3. METODOLOGIA

3.1. Aspectos Gerais

O objetivo do trabalho foi estimar o impacto que a adoção de tecnologia na produção de cana-de-açúcar pode ter na produtividade das Unidades de Produção Agropecuária (UPA). Conforme a literatura, o modelo *Propensity Score Matching* (PSM) é capaz de avaliar este impacto, que pode ser interpretado como o efeito médio do tratamento sobre os tratados (EMTT). Para tanto, seria necessário comparar o desempenho em duas situações, com e sem o tratamento proposto. Entretanto é muito difícil analisar a situação do mesmo indivíduo em duas situações que ocorrem simultaneamente.

O principal desafio da avaliação de impacto é a construção do contrafactual do grupo de tratamento, ou seja, o que teria acontecido com os participantes caso eles não tivessem participado do tratamento (HEINRICH et al., 2010). A melhor maneira de se construir este grupo contrafactual é selecionar aleatoriamente as UPAs que adotaram o manejo integrado de pragas na produção de cana-de-açúcar, e as UPAs que não adotaram. Assim, de acordo com Peixoto et al. (2012), o mecanismo de aleatorização consegue fornecer o balanceamento necessário das variáveis observadas e não observadas, e resolver o problema do viés de autosseleção. Entretanto, a adoção do manejo integrado de pragas acontece de forma não-aleatória, uma vez que fatores como o nível de educação, e os custos relacionados à implementação do programa, afetam a decisão de participação no programa.

A participação no tratamento geralmente acontece de forma não-aleatória, e os indivíduos escolhidos para receber, ou não, o tratamento são diferenciados por características que afetam tanto a participação, quanto o resultado de interesse (vetor de covariadas). Um dos procedimentos centrais na implementação do *Matching* é definir com clareza o grupo similar ou de controle (HEINRICH et al., 2010).

O *Propensity Score Matching* (PSM) é usado como forma de reduzir o viés das variáveis observadas, e criar uma amostra contra factual adequada. Para este trabalho, especificamente, o PSM propõe parear as UPAs que adotaram o Manejo Integrado de Pragas com aquelas que não o adotaram, baseado em características observadas e invariantes no tempo, procurando parear dois grupos mais similares possível, exceto pela adoção. Estudos recentes na literatura de economia agrícola adotaram o PSM como, por exemplo, os trabalhos de Puhfal and Weiss (2009), Wu et al. (2010), Bravo-Ureta et al. (2011), Chagas et al. (2012) e Villano et al. (2015).

Para a definição dos grupos de tratamento e controle, $D_i = 1$ corresponde às unidades de produção agropecuária que adotaram a tecnologia (manejo integrado de pragas) na produção de cana-de-açúcar, e $D_i = 0$ as demais. Supõe-se também que o resultado potencial, caso a UPA adote a tecnologia seja Y_1 , e Y_0 caso contrário. As UPAs não apresentam a mesma probabilidade de pertencer ao grupo de tratamento ou de controle pois fatores institucionais, condições biofísicas, e as características dos produtores (definidas como variáveis X_i) afetam essa probabilidade. Neste sentido, é possível controlar o viés de seleção existente no fato de indivíduos diferentes receberem o tratamento, estimando as probabilidades de recebê-lo, dado o conjunto de covariadas, de modo que:

$$(Y_0, Y_1) \perp D \mid X$$

onde, Y é o resultado de interesse ou potencial, D é o tratamento, $D \in (0,1)$, e X são as variáveis observadas (covariadas).

Em termos gerais, o Efeito Médio do Tratamento (EMT ou ATE) é definido como a diferença das médias obtidas entre os resultados potenciais dos grupos de tratados e controle (HEINRICH et al., 2010), de modo que:

$$EMT = E(Y_1 - Y_0)$$

Porém, o foco do trabalho foi captar o impacto no grupo das pessoas que participaram do programa, ou no caso aderiram à tecnologia do manejo integrado de pragas. Para isso, utilizou-se o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (EMTT ou ATT) conforme:

$$EMTT = E(Y_1 - Y_0 \mid D = 1)$$

Como $E(Y_0 \mid D = 1)$ representa o que teria acontecido com a UPA que adotou a tecnologia do manejo integrado de pragas, caso se ela não o tivesse adotado, pode-se perceber a dificuldade em encontrar o contrafactual de um indivíduo sob tratamento. De acordo com Caliendo e Kopeing (2008), como o grupo contra factual neste caso não pode ser observado, faz-se necessário encontrar um substituto próximo para a estimação do EMTT. Neste sentido, Heckman, Ichimura e Todd (1998) mostraram que o valor do contra factual (resultado

potencial do não tratamento sobre os tratados), $E(Y_0|D = 1)$, é aproximado pelo resultado médio do auto selecionado grupo de não tratados $E(Y_0|D = 0)$.

Consequentemente, tem-se o primeiro pressuposto para a identificação do efeito do tratamento, chamado na literatura de “unconfoundedness”, ou independência condicional.

A independência condicional é uma hipótese forte, e não é um critério diretamente testável. Ao controlar a heterogeneidade dos grupos pelo vetor $\mathbf{X}$ de características observadas, o resultado potencial se torna independente do tratamento. No entanto, se características não observadas determinarem a participação no tratamento, a independência condicional seria violada, e o PSM não seria um método adequado (KHANDKER et al., 2010).

O segundo pressuposto é a existência do suporte comum. De acordo com Cameron e Trivedi (2005), o suporte comum (*overlap*) garante que existam unidades comparáveis nos dois grupos, tratamento e controle, para cada característica X comparável, com probabilidade entre zero e um, ou seja:

$$0 < \Pr[D = 1 | x] < 1$$

Segundo Heckman, Lalonde e Smith (1999), o suporte comum garante que pessoas com o mesmo valor de X (mesmas características) têm probabilidade positiva de ser participante ou não do tratamento. Caliendo e Kopeinig (2008), Khandker et al. (2010) e Heinrich *et al.* (2010) abordaram com maiores detalhes dos pressupostos do método de pareamento via escore de propensão (PSM). Assim, satisfeitos os dois pressupostos ou condições, a participação no tratamento é denominada de “*strongly ignorable*” (Rosenbaum e Rubin, 1983).

Com a validação dos pressupostos do modelo proposto, pode-se ter uma estimativa não viesada do EMTT. Por isso, é possível utilizar a metodologia do *matching* para construir um grupo de controle o mais parecido possível com o grupo de tratamento, condicionando ambos nas variáveis observadas, de modo a comparar os resultados.

Com os pressupostos básicos do modelo observados, tem-se que, ao comparar unidades de produção agropecuárias no grupo de tratamento e controle, com as mesmas características observadas, o único fator que as diferencia é o fato de ter ou não usado a técnica de manejo integrado de pragas.

Portanto, como concluíram Caliendo e Kopeinig (2008), o PSM é simplesmente a diferença média nos resultados sobre o suporte comum, devidamente ponderado pela distribuição do *propensity score* dos participantes.

3.2. Estimação do *Propensity Score*

Quando se compara dois indivíduos, condicionados a um número grande de características observadas, a semelhança entre eles aumenta, e estes se tornam mais comparáveis. Porém, ao considerar essas covariadas, pode ocorrer o problema de multidimensionalidade. Em 1983, Rosenbaum e Rubin introduziram o método do *propensity score*, como forma de resolver este problema. A metodologia define a probabilidade condicional de participar de um tratamento (programa), dado um vetor de variáveis observadas (covariadas).

Para a análise do PSM, primeiramente estimou-se o *propensity score* (PS). Ocorre que, para uma variável de tratamento binária, não há vantagem na utilização de um modelo *probit* ou *logit*, dado que os dois modelos são preferíveis ao modelo linear de probabilidade (HEINRICH et al., 2010). A princípio, qualquer modelo discreto de escolha pode ser usado. A preferência pelo *logit*, ou *probit*, vem do fato de os modelos lineares de probabilidade apresentarem uma variável resposta altamente enviesada, e ter probabilidades fora dos limites [0,1] (CALIENDO e KOPEINIG, 2008).

Quando a participação no tratamento é não-aleatória, mas depende de um vetor de variáveis observáveis $\mathbf{x}$, o conceito de *propensity score* torna-se bastante usado (CAMERON e TRIVEDI, 2005).

Na análise binomial, o *propensity score* é analisado a partir de métodos paramétricos e semiparamétricos (*logit* ou *probit*) definidos como:

$$\Pr(y = 1 \mid \mathbf{x}) = F(\mathbf{x}'\beta)$$

onde y corresponde a variável de resposta do modelo binário escolhido, $\mathbf{x}$ é o vetor de variáveis condicionais, e $F(\cdot)$ é uma função paramétrica de $\mathbf{x}'\beta$, podendo ser uma função com distribuição logística (*logit*) ou Normal (*probit*). No caso do modelo *logit*, a probabilidade de adotar ou não a técnica (Manejo Integrado de Pragas) pode ser descrita como:

$$\Pr(D = 1|x) = \frac{e^{x'\beta}}{1 + e^{x'\beta}}$$

Para o modelo *probit*, a probabilidade de adoção de tecnologia se dá conforme as expressões (CAMERON e TRAVEDI, 2010; WOOLDRIDGE, 2010):

$$\Pr(D = 1 | x) = \int_{-\infty}^z \phi(z) dz$$

$$\phi(z) = (2\pi)^{-1/2} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

Assim, o método do *propensity score* permite reduzir o viés gerado por variáveis não observadas, mas não eliminá-lo. A extensão de quanto o viés é reduzido depende da riqueza e da qualidade das variáveis de controle em que o *propensity score* é computado, e o pareamento realizado (BECKER e ICHINO, 2002).

Segundo Heckman, Ichimura e Todd (1997), o viés é dividido em três componentes: 1) falta de suporte comum; 2) em decorrência de erros nas variáveis observadas; 3) diferença nos resultados remanescentes após levar em consideração o suporte comum, e as características observáveis, conhecidas como “viés de seleção”. Para lidar com o viés, o programa deve ser alocado aleatoriamente, garantindo que participantes e não participantes teriam o mesmo resultado esperado caso não tivessem sido inscritos no programa (ou, no caso deste trabalho, adotado o MIP).

3.3. Modelos de Pareamento

A estimação do *propensity score* não é suficiente para estimar o Efeito Médio de tratamento sobre os tratados (EMTT). O principal motivo é que a probabilidade de se obter duas observações com exatamente o mesmo *propensity score* é praticamente nula, considerando que $p(x)$ é uma variável contínua. Assim, vários métodos têm sido propostos na literatura para a realização do pareamento entre os grupos de tratamento e controle, tais como (BECKER e ICHINO, 2002): 1) pareamento por vizinho mais próximo (NNM); 2) pareamento por *radius* ou *caliper*; 3) pareamento por *kernel* e *local linear*; 4) Covariate Matching (CVM).

O Pareamento por vizinho mais próximo (NNM) é o método mais utilizado dentre todos (KHANDKER *et al.* 2010; CALIENDO e KOPEINIG, 2008). Para Caliendo e Kopeinig (2008), o indivíduo no grupo de controle é escolhido para ser pareado com outro no grupo de tratamento, conforme a proximidade do valor do *propensity score*. As estimativas podem ser realizadas com ou sem reposição sendo que, no pareamento com reposição, há um *trade-off* entre viés e variância. Um problema com a estimação do NNM sem reposição é que as estimativas dependem da ordem em que as observações são pareadas, tornando necessário gerar uma ordem aleatória antes de se estimar os pareamentos.

O pareamento por vizinho mais próximo é dado por:

$$C(P_i) = \min_j \|P_i - P_j\|, \quad j \in I_0$$

onde P_i e P_j são os propensity scores do grupo de tratamento e controle, respectivamente, I_1 é o conjunto de participantes do tratamento e I_0 é o conjunto de não participantes (controle). $C(P_i)$ é o conjunto de indivíduos do grupo de controle pareados com o indivíduo i , de acordo com o valor P_i do *propensity score*, e j representa um indivíduo do grupo de controle ($j \in C$).

Contudo, às vezes a diferença entre os escores de propensão do indivíduo do grupo de tratamento comparado com o indivíduo do grupo de controle é muito grande, ao fazer o pareamento pelo método do vizinho mais próximo. Esta situação poderia causar pareamentos fracos, porém pode ser resolvida utilizando um calibre (*caliper*), que impõe uma máxima tolerância à distância entre as duas observações pareadas (KHANDKER *et al.* 2010; CALIENDO E KOPEINIG, 2008). O método de pareamento por *Caliper* pode ser representado da seguinte maneira, segundo Guo e Fraser (2010):

$$\|P_i - P_j\| < \varepsilon$$

onde ε é a máxima tolerância permitida para o pareamento (*caliper*). De acordo com Rosenbaum e Rubin (1985), o tamanho do *caliper* é um quarto do desvio padrão dos propensity scores da amostra.

Os algoritmos *Kernel* e *Local Linear* são estimadores não paramétricos que comparam o resultado de cada unidade tratada (adotou M.I.P) com a média dos não-tratados (não-adotou M.I.P), baseado em uma média ponderada das UPAs que não adotaram o M.I.P, com o maior peso sendo dado aos scores mais próximos das UPAs que adotaram o M.I.P. De

acordo com Caliendo e Kopeinig (2008), diferente dos outros métodos que constroem um grupo contrafactual com apenas algumas observações, o *Kernel* e *Local linear* usam uma média ponderada para todos os indivíduos no grupo de controle na construção do contrafactual, tendo com maior vantagem a baixa variância gerada, uma vez que mais informações são utilizadas relativamente a outras estratégias.

3.4. Estimação do EMTT e qualidade do pareamento

Após ser realizado o *matching*, utilizando os métodos apresentados, faz-se necessário testar a qualidade do pareamento, ou seja, se os valores das covariadas dos grupos de tratamento e controle, antes e depois do *matching*, apresentam diferenças significativas (CALIENDO e KOPEINIG, 2008). Quanto mais apropriado e correto for o pareamento, menor será a diferença das médias dos grupos. De acordo com Becker e Ichino (2002), é possível verificar a qualidade do pareamento através do *balancing property*.

Dessa maneira, alguns procedimentos foram propostos por Caliendo e Kopeinig (2008), como forma de calcular a qualidade do pareamento. São eles: viés padronizado (Standardised Bias); teste-t (*t-Test*); significância conjunta e pseudo-R² (*joint significance and pseudo-R²*); teste de estratificação (*stratification test*). O trabalho procura enfatizar os testes de viés padronizado e teste-t, uma vez que o balanceamento é essencial para reduzir o viés de seleção amostral, conforme sugerido por Rosenbaum e Rubin (1985):

$$Viés_{antes} = 100. \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_0)}{\sqrt{0.5(V_1(X) + V_0(X))}}$$

$$Viés_{depois} = 100. \frac{(\bar{X}_{1M} - \bar{X}_{0M})}{\sqrt{0.5(V_{1M}(X) + V_{0M}(X))}}$$

onde, $\bar{X}_1$, V_1 , $\bar{X}_0$, V_0 são, respectivamente, as médias e variâncias dos grupos de tratamento e controle, antes do pareamento ser realizado, enquanto que $\bar{X}_{1M}$, V_{1M} , $\bar{X}_{0M}$, V_0 referem-se as médias e variâncias depois do pareamento.

Assim, somente o viés não determina que o pareamento foi realizado de maneira correta. O *test-t* verifica se há diferenças de médias das variáveis disponíveis para os dois grupos. Dado que a hipótese nula para o teste *t* é de que as médias sejam iguais; em caso de

não rejeição da hipótese nula, pode-se dizer que os grupos de tratamento e controle estão na situação esperada.

3.5. Procedimento para implementação do *Propensity Score Matching*

Nesta seção é descrito o procedimento adotado pelo *Propensity Score Matching* para avaliar o impacto da adoção do manejo integrado de praga na produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. O processo pode ser dividido em quatro etapas:

1. Estimação do *propensity score*: por meio de modelos binários de escolha (Probit ou logit), podemos estimar os *propensity scores*. Caliendo e Kopeinig (2008), destacaram não haver muita diferença na estimação da probabilidade pelos dois modelos, uma vez que estes devem produzir resultados similares. Neste trabalho foi utilizado o modelo *logit* para a estimação do *propensity score*.
2. Escolha do algoritmo de pareamento: Uma vez calculado o *propensity score*, é necessário escolher um algoritmo de pareamento do grupo de tratado com o grupo de controle, baseado na proximidade dos *propensity scores*. Utilizou-se o pareamento por vizinho mais próximo, um para um sem reposição (NNM 1-1) como principal resultado do impacto da adoção de M.I.P na produtividade da cana. Como checagem de robustez, estimou-se também os modelos NNM 1-5, NNM com calibre, *Kernel*, *Local Linear*, e Covariate Matching.
3. Checagem do suporte comum: De acordo com Caliendo e Kopeinig (2008), as observações que tenham o *propensity score* menores que o mínimo, e maior que um máximo no grupo oposto, são removidos da amostra. Neste caso, são descartados os *propensity scores* fora do suporte comum.
4. Avaliação a qualidade do pareamento: Como o pareamento leva em consideração o *propensity score*, e não as variáveis observadas individualmente, é preciso checar se a distribuição das variáveis estão balanceadas entre os grupos de tratamento e controle. Rosenbaum e Rubin (1985) recomendaram checar o viés padronizado e o *test-t* como indicadores de qualidade do pareamento.

4. BASE DE DADOS

Em 1995/96 teve início o Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuárias (Projeto LUPA), que foi realizado para o Estado de São Paulo. A pesquisa consistiu em um questionário aplicado a cada Unidade de Produção Agropecuária (UPA), considerando 645 municípios, e abrangendo as explorações vegetais e animais, porém as atividades de extrativismo foram desconsideradas. Os dados utilizados nesta pesquisa provêm do projeto LUPA iniciado em junho de 2007, com conclusão em setembro de 2008, referente ao ano agrícola de 2007/2008.

Como os dados são referentes ao Estado de São Paulo, existe uma limitação na criação do grupo de controle, por não existir outros estados que possam servir como contra factual.

Os dados *cross-section* foram coletados para 46.205 unidades de produção agropecuária em São Paulo referente à safra 2007/08. O grupo de tratamento foi construído com um total de 1.429 UPAs (consideradas adotantes da tecnologia Manejo Integrado de pragas) enquanto que o grupo de não tratados apresentou 44.776 UPAs não adotantes do M.I.P. De acordo com a definição apresentada no levantamento censitário (LUPA), utilizar técnicas de M.I.P consiste em um sistema de controle de pragas que integra métodos biológicos e químicos, por meio do uso de agrotóxicos seletivos em aplicações localizadas, apenas onde e quando o monitoramento indicar que a infestação atinge o nível limiar de dano econômico.

Foram excluídas as UPAs que apresentaram produtividade abaixo de 30 ton/ha e acima de 160 ton/ha, mão-de-obra familiar menor que 20 trabalhadores, mão-de-obra permanente de no máximo 500 trabalhadores, as UPAs que declararam não ter renda totalmente proveniente de atividade agrícola, além daquelas que não declararam alguma característica expressa no questionário. A descrição das variáveis utilizadas encontra-se na Tabela 1.

Dessa forma, pretendeu-se verificar se o uso da tecnologia, mais especificamente do manejo integrado de pragas nas culturas, produz, ou não, algum impacto positivo na produtividade da cana de açúcar.

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas

Variáveis	Definição
Reside UPA	Variável Binária: 1- reside na UPA; 0 - caso contrário
Renda	Percentual correspondente à participação da atividade agropecuária na renda total do proprietário
Produtividade	Quantidade produzida em kilos por hectare
Área Cultura	Corresponde ao total da área ocupada com cana-de-açúcar
Cultura Temporária	Corresponde ao total da área ocupada com cultura temporária
Irrigação	Variável Binária: 1- utiliza irrigação; 0 - caso contrário
Colheita Manual	Variável Binária: 1- utiliza colheita manual; 0- caso contrário
Colheita Mecânica	Variável Binária: 1- utiliza máquinas e colheitadeiras; 0- caso contrário
Plantio Direto	Variável Binária: 1- cultivo através de plantio direto; 0- caso contrário
Orgânico Transição	Variável Binária: 1-cultivo de forma orgânica ou se está em transição para ser orgânica; 0- caso contrário
Cooperado	Variável Binária: 1- Participa de uma cooperativa; 0- caso contrário
Associado	Variável Binária: 1- Participa de uma associação formal; 0- caso contrário
Sindicalizado	Variável Binária: 1- Participa de sindicato de produtores rurais; 0- caso contrário
AT Oficial	Variável Binária: 1- Se recebe assistência técnica governamental; 0- caso contrário
AT Privada	Variável Binária: 1- Se recebe assistência técnica privada; 0- caso contrário
Crédito Rural	Variável Binária: 1- Utilizou crédito rural nos últimos 12 meses; 0- caso contrário
Seguro rural	Variável Binária: 1- Utilizou seguro rural nos últimos 12 meses; 0- caso contrário
Escrituração	Variável Binária: 1- Se é feita regularmente a escrituração agrícola; 0- caso contrário
Energia Elétrica	Variável Binária: 1- Utiliza energia elétrica; 0- caso contrário
Faz MIP	Variável Binária: 1- Utiliza Manejo Integrado de Pragas (M.I.P); 0- caso contrário
Mudas Fiscalizadas	Variável Binária: 1- utiliza mudas fiscalizadas; 0- caso contrário
Adubação Mineral	Variável Binária: 1- Utiliza adubos simples, farelados ou granulados; 0- caso contrário
Adubação Verde	Variável Binária: 1- Utiliza adubação verde; 0- caso contrário
Conservação de solo	Variável Binária: 1- Utiliza práticas de conservação de solo; 0- caso contrário
Análise de solo	Variável Binária: 1- Utiliza análises de solo; 0- caso contrário
Computador	Variável Binária: 1- Utiliza computador na UPA; 0- caso contrário
Internet	Variável Binária: 1- Utiliza internet para coletar informações; 0- caso contrário
Arrendamento	Variável Binária: 1- Se a área cultiva está em forma de arrendamento ou parceria; 0- caso contrário
Área Descanso	Variável Binária: 1- Terras não cultiváveis no período entre safra (Pousio); 0- caso contrário
MO Familiar	Número de familiares do proprietário ou produtor que trabalham na UPA
MO Permanente	Número de trabalhadores permanentes (assalariados) que trabalham no imóvel
Escolaridade 1	Variável Binária: 1- Sem instrução; 0- caso contrário
Escolaridade 2	Variável Binária: 1- Primário completo; 0- caso contrário
Escolaridade 3	Variável Binária: 1- 1º grau completo; 0- caso contrário
Escolaridade 4	Variável Binária: 1- 2º grau completo; 0- caso contrário
Escolaridade 5	Variável Binária: 1- Superior Completo; 0- caso contrário

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do LUPA 2007/08.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Resultados do *Propensity Score Matching*

Para analisar o impacto da adoção da tecnologia na produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo é necessário que exista um conjunto de UPAs que não adotaram a tecnologia cujo impacto será avaliado (MIP), mas que possuam as mesmas características observáveis dos que aderiram à tecnologia. Portanto, foram selecionados no presente trabalho as características que possibilitaram comparar os adotantes e não adotantes do Manejo Integrado de Pragas.

A tabela 2 apresenta as médias e desvios padrões das variáveis utilizadas para calcular a probabilidade de adotar o MIP entre todas as UPAs produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (adotantes e não adotantes), de acordo com os dados do LUPA.

A média da produtividade em toneladas por hectare é maior para o grupo de tratados em comparação com o grupo dos que não foram tratados. O primeiro atingiu média de 87,19 t/ha, enquanto que o segundo grupo 77,28 t/ha. A proporção de UPAs que utilizaram crédito rural e mudas fiscalizadas também é maior para o grupo de tratados e, além disso, a utilização de técnicas de análise e conservação de solo é maior para este grupo. A análise dos dados sugere, portanto, uma produtividade maior do grupo dos que usaram o Manejo Integrado de Pragas na produção de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Estatística Descritiva das variáveis

Variável	Tratado		Não Tratado	
	Média	Desvio Padrao	Média	Desvio Padrão
Reside_Upa	0,188	0,391	0,286	0,452
Renda	69,756	32,938	61,848	36,881
Area_Cultura	91,537	228,637	42,390	125,910
Produtividade	87.198,08	16.013,26	77.280,65	21.655,83
Irrigação	0,015	0,123	0,006	0,078
Colheita_Manual	0,874	0,332	0,925	0,263
Colheita_Mecânica	0,355	0,479	0,170	0,376
Plantio_Direto	0,007	0,834	0,009	0,966
Orgânico_Transição	0,001	0,026	0,001	0,347
Cooperado	0,571	0,495	0,385	0,487
Associado	0,379	0,485	0,286	0,452
Sindicalizado	0,390	0,488	0,316	0,465
AT_Oficial	0,615	0,487	0,559	0,497
AT_Privada	0,705	0,456	0,401	0,490
Crédito_Rural	0,363	0,481	0,195	0,396
Seguro_Rural	0,134	0,340	0,366	0,188
Escrituração	0,720	0,449	0,352	0,478
Energia Elétrica	0,814	0,389	0,781	0,414
Mudas Fiscalizadas	0,600	0,490	0,258	0,438
Adubação_Mineral	0,945	0,229	0,731	0,443
Adubação_Verde	0,171	0,377	0,069	0,254
Conservação_Solo	0,953	0,211	0,741	0,438
Usa_Computador	0,213	0,410	0,073	0,259
Análise_Solo	0,903	0,295	0,484	0,500
Internet	0,244	0,430	0,077	0,267
Arrendamento Parceria	0,128	0,334	0,134	0,341
Cultura Temporário	98,516	241,158	44,665	130,767
Área Descanso	0,583	5,087	0,336	5,422
Mo_Familiar	1,206	1,247	1,343	1,241
Mo Permanentes	2,051	5,578	0,860	5,234
Escolaridade 1	0,364	0,187	0,709	0,257
Escolaridade 2	0,308	0,462	0,417	0,493
Escolaridade 3	0,134	0,340	0,122	0,327
Escolaridade 4	0,196	0,397	0,165	0,371
Escolaridade 5	0,326	0,469	0,225	0,417
Número de observações	1.429		44.776	

Fonte: LUPA 07/08.

A tabela 3 apresenta os resultados da Matriz de Correlação entre as principais variáveis. Percebe-se que a correlação existente entre utilizar as técnicas do manejo integrado de pragas e os níveis de escolaridade são crescentes, ou seja, a chance de encontrar UPAs que utilizaram a tecnologia é maior para aquelas cujo produtor tem nível de instrução mais

elevado e vice-versa. Constatase que para o nível de escolaridade 1 a correlação foi negativa. Quanto a outras variáveis observadas no modelo, pode-se ver que o uso de mudas fiscalizadas, conservação e análise de solo são usados com mais frequência pelas UPAs adotantes do MIP.

Mesmo tendo uma correlação de 0,145 para análise de solo, e 0,085 para conservação de solo, por exemplo, não se pode inferir sobre a significância dessas correlações, dado que se tem 22.971 UPAs que utilizam técnicas de análise de solo, e 34.540 UPAs conservação de solo, contra uma amostra de 1.429 UPAs que adotaram o manejo integrado de pragas.

Tabela 3. Matriz de Correlação

	Faz_mip	Mudas_Fiscalizadas	Adubação_Mineral	Conservação_Solo	Análise_Solo
Faz_mip	1,000				
Mudas_Fiscalizadas	0,133	1,000			
Adubação_Mineral	0,084	0,249	1,000		
Conservação_Solo	0,085	0,204	0,394	1,000	
Análise_Solo	0,145	0,234	0,376	0,452	1,000
Escolaridade 1	-0,023	-0,041	-0,055	-0,104	-0,010
Escolaridade 3	0,006	-0,008	-0,021	-0,011	-0,009
Escolaridade 4	0,014	0,014	0,028	0,050	0,058
Escolaridade 5	0,042	0,058	0,083	0,120	0,110

Fonte: Elaboração própria

Conforme a metodologia apresentada, utilizou-se então o modelo logíte² para a estimação da probabilidade de uma Unidade de Produção Agropecuária (UPA) adotar o manejo integrado de pragas (MIP). A partir das variáveis apresentadas na tabela 1, o modelo logíte foi estimado (Tabela 4), sendo a variável dependente “FAZ_MIP” (binária).

Para identificar o impacto da adoção da tecnologia (Manejo Integrado de Pragas), deve-se estimar a probabilidade de recebimento do tratamento, tanto para os adotantes quanto para os não adotantes da tecnologia. O objetivo é encontrar uma relação entre a probabilidade de adotar a tecnologia do manejo integrado de pragas, e as características observáveis das UPAs. As variáveis de controle selecionadas para a estimação do *propensity score* são as mesmas usadas para a composição dos grupos de tratamento e controle.

De acordo com os resultados da Tabela 4, nem todos os coeficientes foram significativos para explicar a probabilidade das UPAs utilizarem o manejo integrado de

² Entre o modelo logit e próbit, empregou-se o modelo de escolha binária logit, por ter se mostrado estatisticamente significativo nas principais variáveis observadas.

pragas, porém, foram suficientes para que o modelo apresentasse um grau de robustez acerca do nível de significância dos coeficientes tomados individualmente.

Tabela 4. Resultados do Modelo Binário Lógite

Variável	Coefficiente	Desvio Padrão	P> z
Reside upa	0,0199777	0,0778308	0,797
Renda	0,0023205	0,0008889	0,009
Area Cultura	-0,0003474	0,0006494	0,593
Irrigação	0,6244062	0,2467188	0,011
Colheita Manual	0,3452796	0,101106	0,001
Colheita Mecanica	0,6810762	0,0725559	0,000
Plantio Direto	-0,2305685	0,3396046	0,497
Organico Transicao	-0,3222278	1,032516	0,755
Cooperado	0,1278078	0,0644406	0,047
Associado	-0,1984076	0,640228	0,002
Sindicalizado	-0,3644765	0,0633864	0,000
AT Oficial	0,0046117	0,0594598	0,938
AT Privada	0,4847959	0,0645875	0,000
Credito Rural	0,269886	0,0658809	0,000
Seguro Rural	0,2756741	0,0938526	0,003
Escrituracao	0,8461566	0,0651411	0,000
Energia Eletrica	0,4308529	0,073718	0,000
Mudas Fiscalizadas	0,8011153	0,059348	0,000
Adubacao Mineral	0,5514851	0,1237108	0,000
Adubacao Verde	0,3489271	0,0800004	0,000
Conservacao de Solo	0,2439361	0,1379756	0,077
Analise de Solo	1,494277	0,098497	0,000
Usa Computador	-0,2282474	0,1018872	0,025
Internet	0,5829775	0,0949814	0,000
Arrendamento Parceiro	-0,3475948	0,0844242	0,000
Cultura Temporária	0,0001939	0,0005951	0,745
Area Descanso	0,0005907	0,0036077	0,870
MO_Familiares	-0,657143	0,0266416	0,014
MO_Permanentes	0,0019167	0,0028105	0,495
Escolaridade 1	0,1154856	0,1526968	0,449
Escolaridade 3	0,1881537	0,0921628	0,041
Escolaridade 4	0,612615	0,0835891	0,464
Escolaridade 5	0,61012	0,0798724	0,445
Intercepto	-7,294401	0,2112261	0,000
Número da Amostra		46,205	

Variável Dependente: FAZ_MIP

LR chi2 = 2.307,95; Prob > chi2 = 0.0000; Pseudo R2 = 0.1810.

Fonte:

Percebe-se que, por exemplo, o uso da colheita mecânica, o acesso ao crédito rural, o uso de mudas fiscalizadas, adubação verde e análise de solo aumentam a probabilidade da UPA em adotar o Manejo Integrado de Pragas (dados pelos coeficientes do modelo lógite). O fato de utilizar o serviço de assistência técnica privada, também influencia positivamente na probabilidade de adotar o MIP, além de variáveis como a utilização de energia elétrica e o acesso à internet.

Por outro lado, observaram-se também coeficientes estatisticamente significativos ao nível de 1%, cujas variáveis diminuem a probabilidade de adotar a tecnologia, como por exemplo, o fato de ser associado ou sindicalizado, produzir sob arrendamento ou parceria.

O número de UPAs tratadas (adotantes do MIP) e controle (não adotantes do MIP) dentro do suporte comum são relativamente grandes, com 1.429 no grupo de tratado (*treated*) e 44.776 no grupo de controle (*untreated*). A aderência do *matching* é apresentada na figura 6, que mostra um histograma do escore de propensão, satisfazendo a condição de suporte comum, pois existe uma sobreposição das distribuições dos *propensity score* nos dois grupos.

Figura 6. Histograma da Área de suporte comum

O principal objetivo do *matching* é tornar o mais semelhante possível as distribuições de probabilidade do grupo de tratamento com o grupo de controle, ou seja, construir um grupo dos que não adotaram o manejo integrado de pragas, mas que é estatisticamente muito parecido com aqueles que o adotaram.

Após gerar os escores de propensão, obtidos por meio do modelo logístico, é possível calcular as diferenças de médias, a partir do Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (EMTT), com o método de pareamento *one-to-one* por vizinho mais próximo e sem reposição. Destaca-se que apenas três observações ficaram fora do suporte comum, estando as demais 46.202 observações na região de suporte. Os resultados encontram-se na tabela 5.

Tabela 5. PSM com pareamento one-to-one (NNM 1) sem reposição

Amostra	Grupo de Tratamento	Grupo de Controle	Diferença	Erro Padrão	Valor <i>t</i>
Não Pareada	87.198,08	77.280,65	9.917,43	577,85	17.16***
EMTT	87.185,17	84.249,09	2.936,09	656,34	4.47***
Variável de Resultado: "Produtividade_Kg_Ha"					

Fonte: Elaboração própria

Notas: *** Estatisticamente Significativo a 1%

** Estatisticamente Significativo a 5%

* Estatisticamente Significativo a 10%

O algoritmo *one-to-one* encontra apenas um controle para cada UPA, com escore de propensão mais próximo do escore da UPA que adotou a tecnologia. Foi estimado um pareamento sem reposição que, para cada UPA no grupo de controle, parecia apenas uma vez com uma outra do grupo de tratado.

Conforme os resultados, o grupo de tratamento pareado tem, em média, uma produtividade em quilogramas por hectare maior do que a média do grupo de controle no período analisado. Os dados corroboram a percepção de um impacto positivo no grupo de tratamento (UPAs que utilizaram o M.I.P), indicando aumento da produtividade de cana-de-açúcar de, aproximadamente, 2,9 toneladas por hectare. O valor *t* indica que o EMTT é significativo ao nível de 1%.

Quando há diferenças estatisticamente significativas entre as características observáveis entre o grupo de tratamento e o de controle, a hipótese dos grupos estarem balanceados é violada, gerando estimativas tendenciosas do real impacto da adoção de tecnologia. Dessa maneira, se antes do *matching* há diferenças de médias, espera-se que essas

desapareçam após o *matching*. Esta comparação pode ser observada nos resultados da Tabela 6.

Depois de estimados os *propensity scores*, pode-se analisar o balanceamento das variáveis observadas. Observa-se, pelos testes *t*, que as covariadas estão bem balanceadas, e o balanceamento entre os grupos de tratamento e controle geram substancial redução do viés, principalmente para as variáveis: Irrigação, Crédito Rural e Mudanças Fiscalizadas, que tiveram redução de 100%. Dessa maneira, para os testes de impacto, o *matching* é mais adequado que a amostra não pareada.

Tabela 6. Teste de Qualidade do PSM com pareamento NNM 1-1 sem reposição

(continua)							
Variável	Amostra	Tratamento	Controle	% viés	%redução viés	valor <i>t</i>	p> <i>t</i>
RESIDE_UPA	Não Pareada	0,18824	0,28618	-23,2		-8,09	0,000
	Pareada	0,18864	0,19355	-1,2	95	-0,33	0,739
RENDIA	Não Pareada	69,756	61,848	22,6		8,00	0,000
	Pareada	69,71	68,944	2,2	90,3	0,61	0,544
AREA_CULTURA	Não Pareada	91,537	42,39	26,6		14,04	0,000
	Pareada	91328	88,203	1,7	93,6	0,41	0,683
IRRIGACAO	Não Pareada	0,0154	0,00616	8,9		4,29	0,000
	Pareada	0,01332	0,01332	0	100	0,00	1,000
COLHEITA_MANUAL	Não Pareada	0,87404	0,92534	-17,1		-7,20	0,000
	Pareada	0,87377	0,87237	0,5	97,3	0,11	0,910
COLHEITA_MECANICA	Não Pareada	0,35549	0,17009	43,1		18,19	0,000
	Pareada	0,35484	0,34222	2,9	93,2	0,71	0,480
PLANTIO_DIRETO	Não Pareada	0,007	0,00942	-2,7		-0,94	0,348
	Pareada	0,00701	0,00701	0	100	0,00	1,000
ORGANICO_TRANSICAO	Não Pareada	0,0007	0,00121	-1,6		-0,55	0,585
	Pareada	0,0007	0,0007	0	100	0,00	1,000
COOPERADO	Não Pareada	0,57103	0,3848	37,9		14,24	0,000
	Pareada	0,57013	0,56872	0,3	99,2	0,08	0,940
ASSOCIADO	Não Pareada	0,37859	0,28634	19,7		7,58	0,000
	Pareada	0,37868	0,35133	5,8	70,4	1,52	0,129
SINDICALIZADO	Não Pareada	0,38978	0,31557	15,6		5,93	0,000
	Pareada	0,3906	0,37518	3,2	79,2	0,85	0,397
AT_OFICIAL	Não Pareada	0,61512	0,5586	11,5		4,24	0,000
	Pareada	0,61501	0,5988	3,3	71,5	0,88	0,378
AT_PRIVADA	Não Pareada	0,70469	0,40104	64,1		23,10	0,000
	Pareada	0,70407	0,68233	4,6	92,8	1,26	0,208
CREDITO_RURAL	Não Pareada	0,36319	0,19515	38,1		15,66	0,000
	Pareada	0,36255	0,36255	0,0	100,0	-0,00	1,000
SEGURO_RURAL	Não Pareada	0,13366	0,3665	35,3		18,57	0,000
	Pareada	0,13324	0,13604	-1,0	97,1	-0,22	0,826

(conclusão)							
Variável	Amostra	Tratamento	Controle	% viés	% redução viés	valor <i>t</i>	p>t
ESCRITURACAO	Não Pareada	0,72008	0,35177	79,5		28,75	0,000
	Pareada	0,7195	0,72861	-2,0	97,5	-0,54	0,586
ENERGIA_ELETRICA	Não Pareada	0,81386	0,78075	8,2		2,98	0,003
	Pareada	0,81346	0,81837	-1,2	85,2	-0,34	0,735
MUDAS_FISCALIZADAS	Não Pareada	0,59982	0,25824	73,5		28,92	0,000
	Pareada	0,59888	0,59888	0,0	100,0	-0,00	1,000
ADUBACAO_MINERAL	Não Pareada	0,94482	0,73137	60,5		18,12	0,000
	Não Pareada	0,9446	0,9467	-0,6	99,0	-0,25	0,804
ADUBACAO_VERDE	Pareada	0,17145	0,6939	31,7		14,68	0,000
	Não Pareada	0,17111	0,15077	6,3	80,1	1,48	0,140
CONSERVACAO_SOLO	Pareada	0,95311	0,74098	61,7		18,24	0,000
	Não Pareada	0,95302	0,96213	-2,7	95,7	-1,21	0,227
ANALISE_SOLO	Não Pareada	0,90343	0,48419	102,1		31,54	0,000
	Pareada	0,90323	0,90112	0,5	99,5	0,19	0,850
USA_COMPUTADOR	Não Pareada	0,21344	0,07258	41,1		19,75	0,000
	Pareada	0,21388	0,21879	-1,4	96,5	-0,32	0,750
INTERNET	Não Pareada	0,24423	0,07718	46,7		22,74	0,000
	Não Pareada	0,24264	0,25175	-2,5	94,5	-0,56	0,573
ARREND_PARCEIRO	Pareada	0,12806	0,13449	-1,9		-0,70	0,483
	Não Pareada	0,12833	0,13254	-1,2	34,6	-0,33	0,739
CULTURA_TEMPORARIA	Pareada	98,516	44,665	27,8		14,79	0,000
	Não Pareada	98,322	93,182	2,6	90,5	0,63	0,526
AREA_DESCANSO	Não Pareada	0,58341	0,33566	4,7		1,70	0,088
	Pareada	0,58464	0,35189	4,4	6,1	1,38	0,167
MO_FAMILIARES	Não Pareada	12,057	13,431	-11,0		-4,12	0,000
	Pareada	12,062	11,697	2,9	73,5	0,82	0,412
MO_PERMANENTES	Não Pareada	20,511	0,86044	16,8		8,25	0,000
	Não Pareada	20,407	21,388	-1,4	91,8	-0,28	0,778
Escolaridade1	Pareada	0,3639	0,07086	-15,3		-5,04	0,000
	Não Pareada	0,3647	0,04067	-1,9	87,8	-0,58	0,560
Escolaridade3	Pareada	0,13366	0,12198	3,5		1,33	0,185
	Não Pareada	0,13394	0,13675	-0,8	76,0	-0,22	0,827
Escolaridade4	Não Pareada	0,19594	0,16533	8,0		3,06	0,002
	Pareada	0,19565	0,18583	2,6	67,9	0,67	0,505
Escolaridade5	Não Pareada	0,3261	0,22458	22,9		9,02	0,000
	Pareada	0,32609	0,34292	-3,8	83,4	-0,95	0,341

Fonte: Elaboração própria

Diante dos resultados apresentados na Tabela 6, nota-se uma redução do viés na maioria das variáveis observadas para a amostra pareada, e a não rejeição da hipótese nula referente ao teste de comparação de médias entre os grupos de tratamento e controle³. Para algumas variáveis, a hipótese nula não foi aceita, sendo elas: plantio direto, orgânico transição, arrendamento parceiro e escolaridade 3. Portanto, conclui-se que o *matching* é um modelo adequado para testar o impacto do MIP na produtividade, com a amostra não-pareada.

Para o teste conjunto das variáveis, reportado na Tabela 7, os resultados apresentaram redução do valor médio do viés, com diminuição significativa do valor *Qui-quadrado*. Além disso, o valor *p* resultante foi suficiente para que a hipótese nula de igualdade de médias entre os grupos não fosse rejeitada.

Tabela 7. Teste Conjunto

Amostra	Teste Conjunto				Valor Mediano do viés
	Pseudo R ²	LR Chi2	p>Chi2	Valor médio do viés	
Não Pareada	0.181	2310,47	0,000	30,3	22,9
Pareada	0.004	16,85	0,982	2,0	1,7

Fonte: Elaboração própria

O valor do Pseudo R² expressa o poder dos regressores em explicar a probabilidade de uma UPA adotar o manejo integrado de pragas. Assim, após realizado o *matching*, não deveria haver diferenças sistemáticas entre os grupos, e o pseudo R² seria baixo. De fato, a tabela 7 mostra uma redução do pseudo-R² de 0,181 para 0,004, o que sugere a robustez das estimativas.

Portanto, pode-se concluir que a adoção do manejo integrado de pragas apresentou efeitos positivos na produtividade da cana-de-açúcar das UPAs no Estado de São Paulo, e de acordo com os testes de balanceamento e conjunto, o viés das variáveis observadas foi reduzido, e o teste conjunto se mostrou coerente com a metodologia proposta.

5.2. Análise de Robustez

A principal questão metodológica do trabalho é conseguir encontrar um grupo que represente um bom contrafactual para as unidades de produção agropecuárias que adotaram o manejo integrado de pragas, ou seja, que represente qual seria o a produtividade da UPA se ela não tivesse adotado o MIP. O método apresentado até aqui criou um grupo de comparação

³ No trabalho, definiu-se a hipótese nula como sendo a diferença das médias igual a zero. Espera-se que, antes do pareamento, as médias sejam diferentes.

com base no *propensity score*, dado um conjunto de características observadas nas UPAs. Os resultados encontrados indicaram um efeito positivo da adoção do MIP na cultura da cana-de-açúcar.

Para se obter um resultado mais consistente possível sobre os impactos do MIP na produtividade da cana, foi feita uma checagem de robustez do resultado encontrado. A análise considerou quatro diferentes métodos de pareamento, sendo eles: Vizinho mais próximo com calibre de 0,0118⁴; *Kernel*; *Local Linear* e *Covariate Matching*.

Os resultados da avaliação de impacto do MIP na produtividade da cana com diversos métodos de pareamento estão na tabela 9. Observa-se que se não for utilizado nenhum método de pareamento, ou seja, considerar a amostra não pareada, o resultado obtido é uma diferença de 9,9 toneladas por hectare a mais para o grupo que adotou o MIP, na safra de 2007/08.

Tabela 8. Avaliação de impacto do manejo integrado de pragas sobre a produtividade da cana-de-açúcar

Método de Pareamento	Grupo de Tratamento	Grupo de Controle	Diferença	Desvio Padrão	Valor <i>t</i>
Sem Pareamento	87.198,08	77.280,65	9.917,43	577,85	17.16***
Vizinho mais próximo sem Caliper	87.185,17	84.249,09	2.936,09	656,34	4.47***
Vizinho mais próximo com Caliper (0,0118)	87.185,17	84.000,46	3.184,72	467,75	6,81***
Kernel (Bandwidth=0,0218) ⁵	87.185,17	82.708,66	4.476,51	460,75	9,72***
Local Linear (Bandwidth=0,0218)	87.185,17	83.741,31	3.443,86	468,12	7,36***
Emparelhamento (<i>Covariate Matching</i>)	87.198,08	85.116,23	2.081,85	742,18	2,81***

Notas: *** Estatisticamente Significativo a 1%. O valor da janela ótima (Bandwidth) é definido como o número de observações total da amostra elevado a menos 0,2.

Contudo, ao comparar as amostras pareadas, a variação da produtividade é menor – em torno de 2,9 ton/ha a 4,4 ton/ha, dependendo do algoritmo utilizado no emparelhamento – embora todos os valores tenham apresentado níveis de significância estatística. Portanto, com

⁴ De acordo com Rosenbaum e Rubin (1983), o tamanho do calibre é definido como $\frac{1}{4}$ do desvio padrão do *propensity score*

⁵ Para Henderson e Parmeter (2015) o bandwidth ótimo é meio arbitrário e procura minimizar o *trade-off* entre viés e variância.

base nos resultados, a hipótese de haver impacto positivo da utilização do manejo integrado de pragas na cultura da cana-de-açúcar encontra respaldo nos resultados do modelo.

Dentre os métodos acima analisados, o *Kernel* foi que apresentou o maior incremento de produtividade (4.476 kilogramas/ha), sendo estatisticamente significativo ao nível de 1%. Ao utilizar o *Covariate Matching*, que não leva em consideração os *propensity scores* estimados, o aumento da produtividade estimado foi de cerca de 2.081 kg/ha.

Para o teste de balanceamento, foram analisados na tabela 9 os cinco modelos alternativos propostos. Para estes, os resultados confirmaram a hipótese inicial do trabalho de impacto positivo do MIP na produtividade da cana-de-açúcar, ou seja, para a safra 07/08, a produtividade foi significativamente maior (entre 2,08 ton/ha e 4,47 ton/ha a mais) para as unidades de produção agropecuária adotantes do manejo integrado de pragas. Os resultados da avaliação ficaram estatisticamente robustos, e com estimativas de impacto relativamente próximas na comparação entre os diferentes algoritmos de *matching*.

Dos diferentes algoritmos utilizados para a checagem de robustez, todos foram capazes de reduzir substancialmente o viés das variáveis observadas, sendo que na maioria delas não se rejeitou a hipótese nula do trabalho. Portanto, o manejo integrado de pragas proporciona um aumento na produtividade da cana-de-açúcar, independentemente do modelo de pareamento utilizado.

Tabela 9. Estatísticas de Balanceamento entre adotantes e não-adotantes do MIP

	Vizinho mais próximo 1-5		Vizinho mais próximo com Caliper		<i>Kernel</i>		<i>Local Linear</i>		<i>Covariate matching</i>	
	Viés em %	p-value	Viés em %	p-value	Viés em %	p-value	Viés em %	p-value	Viés em %	p-value
Area_Cultura	89,8	0,52	92,8	0,66	80,5	0,23	94,1	0,72	69,6	0,06
Irrigação	90,9	0,84	89,3	0,82	82,1	0,69	93,1	0,88	100	1,00
Colheita_Manual	99,5	0,98	97,6	0,92	86	0,56	99,1	0,97	90,5	0,69
Colheita_Mecânica	94,1	0,54	94,3	0,56	81,6	0,05	94,5	0,57	90,2	0,31
Plantio_Direto	42,2	0,64	92,6	0,96	66,3	0,80	81,1	0,89	100	1,00
Orgânico_Transição	16,9	0,71	87,7	0,95	75,7	0,91	86,7	0,95	100	1,00
Cooperado	96,8	0,75	95	0,61	79,9	0,04	93,4	0,51	97,4	0,79
Associado	88,6	0,56	93,5	0,74	78,3	0,27	92,3	0,69	96,2	0,85
Sindicalizado	92,6	0,76	90,5	0,70	75	0,31	88,3	0,63	85,9	0,57
AT_Oficial	90,8	0,78	92,4	0,81	77,2	0,48	92,2	0,81	71,5	0,38
AT_Privada	97,6	0,67	96,1	0,49	80,1	0,00	94,8	0,36	96,1	0,49
Crédito_Rural	97,9	0,85	96,5	0,74	83,9	0,13	96,9	0,77	90,4	0,37
Seguro_Rural	98	0,88	96,2	0,77	85,2	0,25	97,2	0,83	95,7	0,74
Escrituração	98,9	0,82	98,4	0,72	82,4	0,00	97,8	0,63	94,9	0,27
Energia Elétrica	80,9	0,67	93,3	0,88	93,1	0,88	94,3	0,90	51,4	0,26
Mudas_Fiscalizadas	98,3	0,75	97,2	0,60	83,1	0,00	97,5	0,65	93	0,20
Adubação Mineral	98,2	0,65	95	0,24	76,4	0,00	90,3	0,03	99,7	0,94
Adubação Verde	90	0,46	89,6	0,45	80	0,14	91,3	0,53	84,9	0,27
Conservação	98,9	0,76	94,7	0,18	75,8	0,00	89,8	0,01	97,7	0,53
Análise_Solo	100	0,99	96,7	0,22	77,1	0,00	92,4	0,01	97,3	0,32
Usa_Computador	96,8	0,77	94,9	0,64	83,5	0,12	96,8	0,77	97	0,78
Internet	97,6	0,81	95,3	0,62	84,5	0,10	97,2	0,77	93,3	0,48
Areendimento_Parceiro	-0,3	0,60	46,3	0,78	56,9	0,82	31,1	0,72	-183	0,13
Cultura_Temporária	89,5	0,50	92,1	0,62	80,2	0,21	93,6	0,69	69,2	0,05
Area_Descanso	60,9	0,75	77,9	0,83	70,9	0,76	82,8	0,87	-4	0,14
MO_Familiares	98,5	0,96	97,2	0,93	78,4	0,51	91,9	0,81	43,5	0,08
MO_Permanentes	93,1	0,83	90,5	0,76	80,8	0,53	92,5	0,82	54,4	0,06
Escolaridade 1	100	1,00	97,5	0,90	80,7	0,36	96,3	0,86	100	1,00
Escolaridade 3	84,4	0,89	87,6	0,91	74,9	0,82	86,7	0,90	-13,9	0,29
Escolaridade 4	93,1	0,89	92,3	0,87	78,2	0,65	92,4	0,88	79,4	0,67
Escolaridade 5	99,6	0,98	98,1	0,92	83,4	0,33	97,6	0,89	88,3	0,50

Fonte: Elaboração própria.

Para o teste conjunto de todas as variáveis, apenas o método de *Kernel* não apresentou um $p > \text{Chi}^2$ próximo de um, porém o pseudo R^2 e o valor médio do viés tiveram ajustes aceitáveis estatisticamente.

Tabela 10. Teste Conjunto de Balanceamento para os diferentes métodos de pareamento

Teste Conjunto						
Método de Pareamento	Amostra	Pseudo R^2	LR Chi2	$p > \text{Chi}^2$	Valor médio do viés	Valor Mediano do viés
Vizinho mais próximo 1-1 sem reposição	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,004	16,85	0,982	2,0	1,7
Vizinho mais próximo 1-5	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,001	3,94	1,000	1,2	1,1
Vizinho mais próximo com Caliper	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,001	3,94	1,000	1,5	1,3
<i>Kernel</i>	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,018	70,46	0,000	5,9	4,3
<i>Local Linear</i>	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,003	11,88	0,999	1,8	1,3
<i>Covariate Matching</i>	Nao Pareada	0,181	2301,4	0,000	30,3	22,9
	Pareada	0,007	27,68	0,637	3,1	2,7

Fonte: Elaboração própria

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aumentar a produtividade do setor canavieiro é um desafio atual tanto para o Brasil, quanto para o estado de São Paulo. Algumas projeções destacam a necessidade de estudos e políticas que visem o aumento da produtividade do setor, dado que a demanda por fontes renováveis de energia tem aumentado a cada ano. O Brasil é o único país onde a maioria dos veículos usam fontes renováveis de energia, apresentando vantagem comparativa na produção de etanol, e liderança na produção mundial e exportação de açúcar. No país, o estado de São Paulo concentra aproximadamente 56% da produção total de cana-de-açúcar, e gera 66% do valor bruto da produção agrícola do estado. Com o aumento da demanda por etanol, a produção se expandiu em direção noroeste e oeste do estado, e trouxe para debate a preocupação com a sustentabilidade e o aumento do uso de produtos químicos, principal causa de desequilíbrios no ecossistema, ajudando no aparecimento de pragas na cultura. Os chamados insetos-pragas são responsáveis por causar danos à cana-de-açúcar e reduzir a produtividade do setor. Nesse sentido, torna-se importante avaliar o impacto do manejo integrado de pragas na produtividade da cana-de-açúcar, bem como para o estado de São Paulo, que representa mais da metade da produção do país.

Por meio de uma análise quantitativa foi possível avaliar o impacto da adoção de tecnologia (manejo integrado de pragas) na produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, aplicando a técnica de pareamento por escore de propensão (*Propensity Score Matching*). A partir de dados do Levantamento Censitário das unidades de produção agropecuária (LUPA) do estado de São Paulo, os resultados confirmaram a hipótese inicial do trabalho, e sugeriram efeitos positivos para os adotantes da tecnologia na produção de cana, ou seja, as unidades de produção agropecuária que adotaram a técnica de manejo integrado de pragas apresentaram maior produtividade em relação as não adotante, estimadas entre de 2,9 ton/ha a 4,4 ton/ha a mais, aproximadamente, conforme as especificações do modelo empírico.

A análise conduzida neste trabalho se configura como uma primeira abordagem econômica e quantitativa do impacto do manejo integrado de pragas sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Futuras pesquisas podem avançar na identificação das características de produtores e propriedades que utilizam o manejo integrado, e na avaliação de outras variáveis que impactam na produtividade do setor, como qualidade do solo, predisposição e incentivos do produtor para a adoção de novas tecnologias, e de instrumentos de políticas agrícolas que

favoreçam a adoção de práticas e tecnologias que possam manter os ganhos de produtividade do setor no longo prazo.

REFERÊNCIAS

- BACHA, C.J.C. Alguns Aspectos dos Modelos de Análise dos Impactos de Mudança Tecnológica No Comportamento do Setor Agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 30, n.1, p. 41-62, 1992.
- BECKER, S.; ICHINO, A. Estimation of average treatment effects based on propensity scores. **The Stata Journal**, College Station, Texas, v. 2, n. 4, p. 358-377, 2002.
- BENEDINI, Mauro S., ARRIGONI, Enrico de B. Manejo integrado de pragas de solo na cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, nº 47, maio 2008. Disponível em: <http://www.coplana.com>. Acesso em: 2 de Agosto de 2016.
- BRAVO-URETA, B. E.; ALMEIDA, A. N., SOLÍS, D. and INESTROZA, A. ‘The economic impact of Marena’s investment on sustainable agricultural systems in Honduras’, **Journal of Agricultural Economics**, Vol. 62, (2011) pp. 429–448.
- CALIENDO, M.; KOPEINIG, S. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching. **Journal of Economic Surveys**, New York, v. 22, n. 1, p. 31-72, 2008.
- CAMERON, C.; TRIVEDI, P. **Microeconometrics Methods and Applications**. Cambridge University Press, New York, USA. 2005. 1034 pg.
- CAMERON, C.; TRIVEDI, P. **Microeconometrics using Stata**. College Station, Texas: Stata Press, 2010. 706 p.
- CANO, A.; PAULILLO, L. F de O. Evolução da ocupação territorial do cultivo da cana no Estado de São Paulo entre 1983 e 2013. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 46,n.1, jan/fev 2016.
- CHAGAS, A. L. S.; TONETO, R.; AZZONI, C. R. A Spatial propensity score matching evaluation of the Social Impacts of Sugarcane growing on municipalities in Brazil. **International Regional Science Review**. 2011
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de Safra. 1º Levantamento de Safra 2016/17. Brasília. Abril 2016.
- CORTEZ, Luís A. B. Introdução. In: CORTEZ, Luís A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo, 2010, pg 3-16.
- CRUZ, I. Controle Biológico em Manejo Integrado de Pragas. In: PARRA, J. R. P et. al. **Controle Biológico no Brasil: Parasitóides e Predadores**. São Paulo, 2002 635p.
- DENT, D. **Insect Pest Management**. Nova York. 2ª edição. 2000.
- DINARDO-MIRANDA,L.L.; COELHO, A.L.;FERREIRA,J.M.G. Influência da época de aplicação de inseticidas no controle de Mahanarva fimbriolata (Stål) (Hemiptera: Cercopidae),

na qualidade e na produtividade da cana-de-açúcar. **Neotropical Entomology**. Londrina, v.33, n.1. p 91-98, 2004.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; GIL, M.A. Estimativa do nível de dano Econômico de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Bragantia**. Campinas, v.66, n.1, pg 81-88, 2007.

FAO. 2008. The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities. Roma, Itália

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 22 de junho de 2016.

GAINES, J. C. Cotton Insects and their control in the united states. **Annu. Rev. Entomol.** 1957. p 319-338. Texas.

GALLO, D. et al.(in memoriam). **Entomologia Agrícola**. Piracicaba, Esalq, 2002, 920p.

GARCIAS, M. de O. **Agricultura Familiar e o impacto da restrição ao crédito rural: uma análise para diferentes níveis de mercantilização**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. 112p.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R. et al. Food Security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, Washington, v. 327, pg 812-818, Fevereiro de 2010.

GUO, S.; FRASER, M. **Propensity Score Analysis: statistical methods and applications**. Thousand Oaks: SAGE, v. 12, 2010.

HECKMAN, J.; ICHIMURA, H.; TODD, P. Matching as an econometric evaluation estimator: evidence from evaluating a job training programme. **Review of Economic Studies**, New York, n. 64, p. 605-654, 1998.

HECKMAN, J.; LALONDE, R.; SMITH, J. The economics and econometrics of active labor market programs. In: CARD, D.; ASHENFELTER, O. **Handbook of Labor Economics**. Amsterdam: Elsevier, v. 3, 1999. Cap. 31, p. 1865-2097.

HEINRICH, C.; MAFFIOLI, A.; VÁSQUEZ, G. **A primer for applying Propensity-Score Matching**. IDB Impact-Evaluation Guidelines, Washington D.C, 2010.

HENDERSON, Daniel J.; PARMETER, Christopher F. **Applied nonparametric econometrics**. Cambridge University Press, 2015.

HOFFMANN, R. Segurança Alimentar e Produção de Etanol no Brasil Food Security and Ethanol Production in Brazil. *Campinas* v. 13, n. 2, p. 1–5, 2006.

IBGE.INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Banco de dados: SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>. Acesso em: 5 de Julho de 2016.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Banco de Dados**. São Paulo: IEA. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>. Acesso em: 19/10/2016.

LEVANTAMENTO CENSITÁRIO DAS UNIDADES DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – LUPA. **Dados Consolidados do Estado 2007/08**. Disponível em <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>. Acesso em: 20/07/2016.

KHANDKER, S.; KOOLWAL, G.; SAMAD, H. **Handbook on Impact Evaluation**. Washington, DC: The World Bank, 2010. 239 pg.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary development. **Annu. Rev. Entomol.**, v.43, p.243-270, 1998.

MACHADO, L.A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm. Acesso em: 26/7/2016

MARCOLIN, N. Era quase aguardente. **Pesquisa Fapesp** online, 2008. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2008/03/01/era-quase-aguardente/>. Acesso em: 15/11/2016.

MARIN, F.R. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos**. Tese (Livre-Docência, Departamento de Engenharia de Biosistemas, área de Agrometeorologia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. 262p.

MARIN, F. R.; CARVALHO, G. L. Spatio-Temporal variability of sugarcane yield efficiency in the state of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília v.43, n.2, pg. 149-156, 2012.

MENDOLA, M. Agricultural Technology adoption and poverty reduction: A propensity-score matching analysis for rural Bangladesh. **Food Policy**. v.32, n. 3, p. 372-393, 2006.

MIRANDA, E. E. Questões Ambientais (impactos locais e globais) e Energéticas: A expansão da cana-de-açúcar e a ocupação das terras no Estado de São Paulo In: CORTEZ, Luís A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo, 2010, pg 41-51.

MORAES, M.A.F. Perspective: lessons from Brazil. **Nature**, Nova York, v.474, n. 7352, pg S25. 2011.

MORAES, M. L de.; BACCHI, M. R. P. Etanol: Do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**. Ano XXIII – n. 4 – Out/Nov/Dez 2014.

PAREDES, C. A. O.; **Avaliação de Impacto do Proagro mais: Um estudo de caso**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. 112p.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; PINTO, A. de S. Controle Biológico de Pragas como um componente-chave para a produção sustentável de cana-de-açúcar. In: CORTEZ, Luís A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo,

2010, pg 441-450.

PARRA, J. R. P. Controle Biológico de Pragas no Brasil: Histórico, situação atual e perspectivas. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria, RS, n. 43 julho/dezembro 2011.

PEDIGO, L.P. **Entomology and pest management**. 4th ed., Prentice Hall, 742p. 2001.

PEIXOTO, B., PINTO, C. C. de X.; Lima, L.; FOGUEL, M. N.; BARROS R. P de. **Avaliação Econômica de Projetos Sociais**. (Org) Menezes Filho, Naercio. 1ª edição. São Paulo: Dinâmica Gráfica e Editora (2012).

PUHFAL, A. and WEISS, C. 'Evaluating farm programmes: Results from propensity score matching', **European Review of Agricultural Economics**, Vol. 36, (2009) pp. 79–101.

ROSENBAUM, P.; RUBIN, D. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, New York, vol. 70, 41-55. 1983.

ROSENBAUM, P.; RUBIN, D. Constructing a control group using multivariate matched sampling methods that incorporate the propensity score. **The American Statistician**. Fevereiro 1985, vol. 39, n. 1.

SANTOS, G. R. Produtividade na Agroindústria Canavieira: um olhar a partir da etapa agrícola. In: SANTOS, Gesmar R **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília, IPEA 2016, pg 165-185.

SANTOS, P. F. A.; ALMEIDA A. N de.; LACERDA, L. P. T.; SILVA, S. M.; BRITO R. A de. Os impactos do Programa Municípios Verdes (PMV) no Controle do Desmatamento da Amazônia: Uma análise usando propensity score matching. **Economia-Ensaios**. Uberlândia, 30 (2): 35-64, Jan./Jun. 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008.

SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F.; VIAN, C. E. DE F. Desafios da Agroindústria Canavieira no Brasil Pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 599–628, 2011.

SHIKIDA, P. F. A. BACHA, C. J. C. evolução da Agroindústria Canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro. pg 69-89. Jan./Mar. 1999.

STERN, V.M., SMITH, R.F., VAN DEN BOSCH, R., HAGEN, K.S. The integrated control concept. *Hilgardia* v.28 p.81-101, 1959.

TORQUATO, Sérgio Alves, Thomaz FRONZAGILA, and Renata MARTINS. Colheita mecanizada e adequação da tecnologia nas regiões produtoras de cana-de-açúcar. **Embrapa**, ed (2008).

VILLANO, R.; BRAVO-URETA, B. E., SOLÍS, D. and FLEMING, E. 'Modern Rice Technologies and Productivity in the Philippines: Disentangling Technology from Managerial Gaps. **Journal of Agricultural Economics**, Vol. 66, No. 1, 2015, 129-154.

ZAMBOLIM, L. JUNQUEIRA, N.T.V. Manejo integrado de doenças da mangueira. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. Manga: produção integrada, industrialização e comercialização. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. v. 1, p. 377-408.

WOOLDRIDGE, J. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. London: The MIT Press, 2010. 1096 p.

WU, H., DING, S., PANDEY, S. T. and TAO, D. 'Assessing the impact of agricultural technology adoption on farmers' well-being using propensity score matching analysis in rural China', **Asian Economic Journal**, Vol. 24, (2010) pp. 141–160.

ANEXOS**Tabela 11.** Número de UPAs e área cultivada com culturas selecionadas no Estado de São Paulo

		Safra 1995/96	Safra 2007/08	Var %
Número de UPAs	Cana-de-açúcar	70.111	99.799	42%
	Laranja	35.883	20.720	-42%
	Milho	84.910	51.694	-39%
	Soja	9.411	7.816	-17%
	Café	28.399	23.737	-16%
	Feijão	18.056	10.290	-43%
Área Cultivada	Cana-de-açúcar	2.886.313	5.497.139	90%
	Laranja	865.802	741.316	-14%
	Milho	1.235.906	667.685	-46%
	Soja	714.207	396.427	-44%
	Café	229.090	214.790	-6%
	Feijão	162.208	104.154	-36%

Fonte: Elaboração própria a partir do LUPA (2009)