

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS IVAN MOZAMBANI

**DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE PRÁTICAS E TECNOLOGIAS DE
AGRICULTURA DE PRECISÃO POR FORNECEDORES DE CANA-DE-
AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

SÃO CARLOS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS IVAN MOZAMBANI

**DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE PRÁTICAS E TECNOLOGIAS DE
AGRICULTURA DE PRECISÃO POR FORNECEDORES DE CANA-DE-
AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof^o Dr. Hildo Meirelles de Souza Filho
Coorientação: Dra. Marcela de Mello Brandão Vinholis

SÃO CARLOS

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Carlos Ivan Moazzambari, realizada em 10/06/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Hildo Meirelles de Souza Filho (UFSCar)

Profa. Dra. Marcia de Melo Brandão Vinholis (EMBRAPA)

Prof. Dr. Marcelo José Camer (UFSCar)

Prof. Dr. Marcelo Silva Pinho (UFSCar)

Prof. Dr. Luis Henrique Bassoli (EMBRAPA)

Prof. Dr. Alberto Carlos de Campos Bernardi (EMBRAPA)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha noiva e aos meus pais,
com muito amor.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por todas as bênçãos recebidas.

Agradeço em especial a minha noiva, por aturar todos os meus momentos de *stress*, me apoiar e incentivar. Ao lado dela espero realizar muitos sonhos.

Agradeço aos meus pais pelo enorme esforço que tiveram para me proporcionar tudo o que estava ao alcance deles. O apoio que deles recebi e recebo jamais será esquecido. Se um dia eu vencer, com certeza a eles se deve uma grande parcela.

À minha irmã, meu sobrinho e meus avós (materno e paterno) deixo meus agradecimentos. Agradeço também meus amigos de Ariranha e do Gepai, que proporcionaram muitos risos e diversos momentos de descontração.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hildo Meirelles de Souza Filho, pela confiança, apoio e compreensão durante a realização deste trabalho. Seus ensinamentos foram essenciais para minha formação. Exemplo de pessoa e de profissional. Muito Obrigado!

À minha coorientadora, Dr^a. Marcela Vinholis, agradeço por ter compartilhado um pouco de seus conhecimentos e experiências. As conversas sempre renderam boas reflexões e resultados. Agradeço a ela pela oportunidade de ter me direcionado ao tema de estudo.

Agradeço aos professores e pesquisadores Marcelo Carrer (DEP/UFSCar), Marcelo Pinho (DEP/UFSCar), Alberto Bernardi (EMBRAPA) e Luis Bassoi (EMBRAPA) pela participação nas bancas de qualificação e defesa e pelas importantes considerações para este estudo.

Agradeço o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro concedido por meio da Chamada MCTIC/CNPQ nº 28/2018, processo 423009/2018-4, assim como o apoio financeiro da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Destaco também o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, por meio de bolsa de estudos.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), técnicos da extensão rural e a todos os produtores rurais que participaram da pesquisa.

RESUMO

Esta tese identifica e analisa os fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de tecnologias de agricultura de precisão (TAPs) por fornecedores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, bem como as principais barreiras a adoção. Para atender a este objetivo foi utilizada uma amostra com 131 produtores rurais fornecedores de cana para indústria. Os produtores da amostra foram entrevistados utilizando um questionário estruturado e os dados primários foram analisados por meio de estatísticas descritivas, testes de hipóteses e um modelo econométrico de dados de contagem. Foram identificadas seis TAPs adotadas pelos produtores: sistematização de plantio com auxílio de GNSS e imagens, colheita com piloto automático, análise de solo georreferenciada, levantamento de pragas e doenças utilizando imagens, aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada, e aplicação de defensivos a taxa variada. A variável dependente é uma medida escalar do número de TAPs adotadas por cada produtor. Trata-se de um indicador capaz de representar a adoção e a intensidade de adoção. Verificou-se que 78 produtores não adotaram TAPs e 53 produtores adotaram pelo menos uma destas tecnologias. Os resultados mostram que a informação agropecuária disponibilizada pela usina, o tamanho da propriedade, assim como a percepção de aumento de produtividade são fatores que influenciam positiva e significativamente a decisão de adoção de TAPs. Enquanto a informação acessada via consultor técnico particular, a participação em eventos agropecuários (palestras técnicas, feiras agropecuárias e dias de campo), a experiência prévia do produtor, a disponibilidade de crédito e a percepção de aumento de produtividade impactam positivamente a decisão de adotar um número maior de TAPs, ou seja, a intensidade de adoção de TAPs. Com relação às principais barreiras à adoção, os adotantes indicaram ter enfrentado dificuldades com relação a conectividade no campo, a falta de assistência técnica de fornecedores de equipamentos, a falta de mão de obra capacitada e a incompatibilidade da interface de comunicação entre sistemas computacionais de diferentes equipamentos agrícolas. Dentre os não adotantes, a principal dificuldade encontrada para a adoção foi o elevado investimento inicial.

Palavras-Chave: Cana-de-açúcar; Adoção de tecnologia; Intensidade de adoção; Agricultura de Precisão; *Poisson* com zero inflado.

ABSTRACT

The following thesis identifies and analyzes the determinants of the adoption and the intensity of adoption of precision agriculture technologies (PATs) by sugarcane suppliers in the state of São Paulo, Brazil, as well as the main barriers to adoption. In person interviews with 131 sugarcane farmers provided cross-sectional farm level data from the 2018/19 crop year. The farmers were interviewed using a semi-structured questionnaire and the primary data were analyzed by means of descriptive statistics, hypothesis test and count data models. Six PATs adopted by the farmers were identified: GNSS and images for rows planning; tractor/harvester with automatic guidance system; georeferenced grids for soil sampling; images (satellite and/or ARP) for mapping pest and yield; variable rate application of fertilizers; and variable rate application of pesticide. The adoption and adoption intensity (dependent variable) were measured as the number of PATs used by farmers. Fifty-three farmers adopted at least one of these technologies, while 78 farmers did not. The results show that the agricultural information provided by the sugarcane mill, the farm size, as well as the perception of increased productivity are factors that positively and significantly influence the farmer's decision of adoption PATs. The access to technical assistance information, the participation in agricultural events (workshop, farms fair and farm field days), the farmer's previous experience, the availability of credit and the perception of increased productivity positively impact the decision to adopt a greater number of PATs, that is, the adoption intensity of the PATs. The adopters indicated that they had faced difficulties related to the connectivity in the field, the lack of technical assistance from equipment suppliers, the lack of trained labor and the incompatibility of the communication interface between computer systems of different agricultural equipment as the main barriers to adoption. For the non-adopters, the main barriers for adoption were the high initial investment.

Keywords: Sugarcane; Adoption of technology; Adoption intensity; Precision agriculture; Zero-Inflated Poisson (ZIP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo AP em três etapas	21
Figura 2 – Principais técnicas de coleta e representação de dados.....	22
Figura 3 – Geração de grade virtual, obtenção de dados por amostragem e interpolação dos dados	25
Figura 4 – Mapa de fertilidade obtido por amostragem em grade por célula.....	25
Figura 5 – Curva em "S" de difusão de tecnologia e Categorização do adotante da inovação.....	37
Figura 6 – Etapas da revisão de literatura para identificar os fatores determinantes da adoção de TAPs.	40
Figura 7 – Fatores determinantes que impactam na intenção de uso de TAPs.	52
Figura 8 – Distribuição da amostra.....	59
Figura 9 – Frequência e porcentagem da adoção de TAPs em uma amostra de 131 produtores de cana-de-açúcar	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelos teóricos que explicam a adoção e difusão de tecnologias.	35
Quadro 2 – Descrição dos estudos analisados na revisão.....	41
Quadro 3 – Fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs identificados na revisão de literatura	55
Quadro 4 – Descrição das variáveis	62
Quadro 5 – Variáveis explicativas utilizadas no modelo de dados de contagem.....	87
Quadro 6 – Força de associação do valor de correlação.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da frequência de produtores por número de TAPs adotadas....	66
Tabela 2 – Fontes de informação sobre agropecuária	74
Tabela 3 – Escolaridade, Idade e Experiência do produtor	76
Tabela 4 – Variáveis relacionadas a tamanho da propriedade.....	78
Tabela 5 – Acesso a crédito e composição da renda do produtor.....	79
Tabela 6 – Característica topográfica da propriedade	80
Tabela 7 – Propriedade da terra	81
Tabela 8 – Diversificação da produção agropecuária e uso de outras tecnologias.....	82
Tabela 9 – Frequência relativa da percepção dos produtores sobre a adoção de TAPs .	85
Tabela 10 – Síntese dos resultados obtidos por meio das estatísticas descritivas e testes de hipóteses para as variáveis analisadas	86
Tabela 11 – Regressão ZIP ajustada.....	90
Tabela 12 – Efeito marginal condicional da variável EVENTO_NÚMERO-MÉDIO ..	93
Tabela 13 – Efeito marginal condicional da variável INF_CONSULTOR-PARTICULAR	94
Tabela 14 – Efeito marginal condicional da variável EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	94
Tabela 15 – Média de área de cana sob gestão do produtor por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs	96
Tabela 16 – Efeito marginal condicional da variável OBTEVE_CRÉDITO.....	96
Tabela 17 – Percentual de produtores que obtiveram crédito rural por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs	96
Tabela 18 – Efeito marginal condicional da variável PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE	98
Tabela 19 – Predições corretas do modelo ZIP	99
Tabela 20 – Modelo Poisson	123
Tabela 21 – Teste de <i>Pearson goodness-of-fit</i> do modelo <i>poisson</i>	123
Tabela 22 – Modelo Binomial Negativo com <i>likelihood-ratio test alpha=0</i>	123
Tabela 23 – Modelo ZIP preliminar	124
Tabela 24 – Testes de critérios de informações bayesianas de Akaike (AIC) e Schwarz (BIC) para os modelos ZIP	124
Tabela 25 – Valores observados e preditos de TAPs adotadas no modelo ZIP para cada observação	125

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Estrutura da tese.....	18
2	PRÁTICAS E TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	20
2.1	Leitura / Coleta de dados	21
2.1.1	Sensoriamento.....	22
2.1.2	Amostragem georreferenciada e direcionada	24
2.1.3	Mapeamento	26
2.2	Análise dos dados (interpretação/planejamento).....	27
2.3	Aplicação (atuação)	29
3	TEORIAS DE ADOÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS	32
3.1	Invenção, Inovação, Adoção e Difusão de Tecnologias.....	32
3.2	Modelos de difusão de tecnologia	35
3.3	Fatores determinantes da adoção de TAPs	39
3.3.1	Análises a partir de informações de adotantes.....	43
3.3.2	Análises a partir da visão de especialistas	51
3.3.3	Síntese dos fatores determinantes identificados na literatura.....	54
4	MÉTODO	57
4.1	Descrição da amostra, principais TAPs adotadas e descrição das variáveis de análise.....	58
4.2	Modelo de dados de contagem	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
5.1	Terceirização na adoção de TAPs, dificuldades pós-adoção e barreiras.....	70
5.2	Perfil socioeconômico e características da produção e da propriedade rural: comparando adotantes e não adotantes de TAPs.....	73
5.2.1	Síntese da comparação.....	85
5.3	Determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs.....	86
5.3.1	Acurácia do modelo ZIP	98
6	CONCLUSÕES.....	100
6.1	Conclusões do estudo	100
6.2	Limitações da pesquisa e propostas para pesquisas futuras.....	102
6.3	Implicações para políticas públicas e privadas	103
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A	116
	APÊNDICE B	122
	APÊNDICE C	123
	APÊNDICE D	125

1 INTRODUÇÃO

Tecnologias e práticas consideradas mais sustentáveis têm se difundido na agricultura brasileira. Ao longo dos últimos 40 anos, o país foi capaz de tropicalizar diversos sistemas de cultivos e de produção animal; grandes extensões de terras de baixa fertilidade natural e ácidas foram transformadas em terras férteis e produtivas; desenvolveu-se uma plataforma de práticas mais sustentáveis, como a fixação biológica de nitrogênio, o controle biológico de pragas, o plantio direto e os sistemas de produção integrados. Os desafios continuam no sentido de solucionar problemas relacionados com as mudanças climáticas, descarbonização da economia, uso mais racional da água, sistemas que permitam a utilização de insumos de forma eficiente, dentre tantos outros (ZHANG, 2015).

Tem se observado a adoção e difusão de tecnologias e práticas que possibilitam ao produtor bons resultados econômicos, além de processos agrícolas mais eficientes, rastreáveis, demandantes de mão de obra qualificada e promotores de produção mais sustentável (MOLIN, 2004). Esse é o caso da agricultura de precisão (AP), que, de acordo com a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA, 2020) é uma estratégia de gerenciamento agropecuário que reúne, processa e analisa dados temporais e espaciais da lavoura e os combina com outras informações para apoiar as tomadas de decisões do produtor. Ainda segundo o ISPA, a AP tem como objetivo melhorar a eficiência no uso de recursos e o aumento da produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola. Para isso, um conjunto de “tecnologias de agricultura de precisão” (TAPs) são usadas isoladamente ou combinados. Nesse conjunto encontram-se tanto *hardwares* e *softwares* usados em operações agrícolas, bem como determinadas operações típicas de AP. Como exemplos, pode-se citar as técnicas de coleta de dados por sensores, os mapeamentos, as amostragens georreferenciadas, os sistemas de informações geográficas, os receptores GNSS, as máquinas e equipamentos de aplicação a taxa variada (BARNES et al. 2019b; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Diferenças existentes no solo e no relevo já eram conhecidas pelos agricultores antes mesmo da revolução industrial (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Pequenas áreas eram cultivadas com trabalho braçal e/ou tração animal, permitindo aos produtores, embora apenas de forma visual, reconhecer a variabilidade de algumas características de suas lavouras e, portanto, adotar diferentes soluções para cada problema dentro de uma mesma área (FRAISSE, 1998). Entretanto, a variabilidade espacial na agricultura foi

pioneiramente abordada no estudo de Linsley e Bauer (1929), no qual os autores recomendaram a subdivisão de uma lavoura de 12,5 hectares em *grids* de até 0,4 hectares para que se realizasse uma amostragem do pH do solo. A partir da análise, recomendou-se a aplicação de quantidades diferentes de calcário, segundo a necessidade de cada *grid*. Esse estudo, no entanto, foi deixado de lado em virtude do desenvolvimento de equipamentos mecânicos que facilitavam a aplicação de insumos em grandes extensões de terra e a taxas uniformes (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; STAFFORD, 2000).

As discussões sobre AP retornaram com grande força na década de 80, quando sensores e sistemas de rastreamento por meio do GPS (*Global Positioning System*) se tornaram disponíveis. Seguiu-se o desenvolvimento de numerosas inovações, como monitores de colheita, sensoriamento remoto, equipamentos de aplicação de insumos a taxa variada, entre outras, que auxiliaram na identificação e gerenciamento da variabilidade existente na lavoura (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; PIRES et al., 2004).

Nos Estados Unidos (EUA), Canadá e países europeus, as TAPs vêm se difundindo rapidamente (EPRS, 2016; ERICKSON; WIDMAR, 2015; LAMBERT; LOWENBERG-DeBOER, 2000). O relatório publicado anualmente pelo departamento de economia agrícola da Universidade de Purdue nos EUA tem mostrado que é crescente o número de distribuidores norte-americanos de insumos agrícolas que passaram a oferecer produtos e serviços destinados a AP (ERICKSON; LOWENBERG-DeBOER; BRADFORD, 2017). O serviço de amostragem georreferenciada de solo, por exemplo, que era oferecido por 33% das empresas abordadas em 2000, passou para 82% em 2017. No mesmo período, o percentual de empresas que passaram a oferecer equipamentos de aplicação a taxa variada cresceu de 32% para 69%. Monitor de colheita, imagem por satélite, mapeamento de condutividade elétrica, entre outros, seguiram a mesma tendência. Mooney et al. (2010) mostraram que a difusão de TAPs entre produtores de algodão no sul dos Estados Unidos cresceu de 1995 a 2009.

No Brasil, o termo AP surgiu na segunda metade da década de 1990, quando mapas de produtividade de lavouras de grãos passaram a ser gerados por colhedoras. Entretanto, apenas os mapas de produtividade eram insuficientes para que se fizessem recomendações técnicas mais precisas, dado que ainda faltavam informações complementares a respeito, por exemplo, da variabilidade do solo e das infestações de pragas e doenças. Além disso, os equipamentos capazes de fazer aplicação de fertilizantes a taxas variadas ainda não estavam disponíveis no mercado (MOLIN, 2017). No início

dos anos 2000, a indústria de fertilizantes começou a realizar testes de aplicação a taxa variada no país com equipamentos importados. Alguns inovadores, em grande medida produtores de cana, importaram alguns veículos aplicadores para realizar aplicação de calcário, gesso e fertilizante em doses variadas, baseando-se em amostragem georreferenciada em grade. Naquele mesmo ano, a degradação do sinal de GPS foi eliminada pelo governo norte-americano, possibilitando uma maior difusão dos receptores de navegação de baixo custo. Em 2001, surgiram as primeiras máquinas de fabricação nacional destinadas a aplicação de insumos a taxa variada. No ano seguinte, o primeiro controlador nacional foi posto no mercado, permitindo aplicação a taxa variada com equipamento nacional. Ainda em 2002, começaram a surgir as primeiras empresas de consultoria e serviços em AP. Também naquele ano, a tecnologia de barras de luzes, que já estava disponível para aviões agrícolas, passou a ser utilizada em equipamentos terrestres. A utilização desta tecnologia tornou algumas operações agrícolas mais eficientes, como o plantio, a pulverização e a aplicação de sólidos a lanço (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Organizações públicas têm realizado pesquisa, difusão e capacitação em AP no Brasil. Em 1996, o primeiro simpósio nacional em Agricultura de Precisão foi realizado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP) (INAMASU; BERNARDI, 2014). Em 1999, dois projetos de pesquisa em AP, um em milho e o outro em soja, foram coordenados pela Embrapa. Em 2009, a Embrapa iniciou um projeto em rede, com participação de 20 unidades de pesquisa e cerca de 200 pesquisadores, com objetivo de difundir os conceitos de AP em diversos sistemas produtivos, envolvendo culturas anuais, perenes e semi-perenes (INAMASU *et al.*, 2011). Em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) autorizou a criação da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP). No ano seguinte, ocorreu a formatura da primeira turma de Mecanização em Agricultura de Precisão, da Faculdade de Tecnologia de Pompeia – SP, Centro Paula Souza (INAMASU; BERNARDI, 2014). Em 2015, a Associação Brasileira dos Prestadores de Serviço em Agricultura de Precisão (ABPSAP) iniciou suas atividades, as quais influenciaram o surgimento da Associação Brasileira de Agricultura de Precisão (AsBraAP). Em termos de treinamento em AP, Inamasu e Bernardi (2014, p. 31) destacaram a experiência do Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ-USP, com seu curso de extensão “Jornada de Atualização em Agricultura de Precisão”. Vale destacar ainda os eventos bienais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP), que reúnem mais de 800 participantes.

Não há informações relacionadas ao nível de difusão de TAPs em bases de dados oficiais brasileiras. Existem, no entanto, estudos empíricos que apresentam alguma informação (ANTOLINI, 2015; BERNARDI; INAMASU, 2014; BOLFE et al., 2020; MOLIN, 2017; SILVA; MORAES; MOLIN, 2011). Molin (2017), em um estudo realizado em 2013 com 992 produtores de soja e milho de três regiões do país (Sul, Cerrado e a região conhecida como MATOPIBA¹), observou que 45% dos entrevistados utilizaram alguma TAP. Para Bernardi e Inamasu (2014), em um estudo com 301 produtores de diversas regiões do país, os principais produtos agrícolas cultivados com TAPs eram soja e milho, seguidos das culturas de trigo e feijão. Silva, Moraes e Molin (2011), em um estudo com 87 usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, mostraram que 47 delas utilizavam alguma TAP no cultivo de cana-de-açúcar.

O número de estudos que abordam os fatores que influenciam a decisão dos produtores de adotar TAPs também tem crescido. Dentre esses fatores estão aqueles relacionados às características socioeconômicas do produtor, como idade, escolaridade e renda (PAXTON et al., 2011; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013), suas fontes de informações (LARSON et al., 2008; SEVIER; LEE, 2004; WALTON et al., 2008) e suas avaliações subjetivas quanto a lucratividade, produtividade e sustentabilidade ambiental da inovação (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016). As características da propriedade rural, como tamanho e localização, também têm sido investigadas (D'ANTONI; MISHRA; JOO, 2012; DABERKOW; MCBRIDE, 2003; WALTON et al., 2010a). Teorias de difusão de tecnologia foram predominantemente utilizadas como fundamentação teórica nesses estudos. De modo geral, modelos como os epidêmicos, de equilíbrio e os de complementaridade estratégica e organizacional são utilizados (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007; DAVID, 1969; FURTADO, 2006; GEROSKI, 2000; MILGROM; ROBERTS, 1990).

Deve-se reconhecer ainda que há diferentes níveis de adoção de TAPs. Muitos produtores adotam apenas tecnologias embarcadas em equipamentos automatizados (piloto automático e GPS, por exemplo), enquanto outros adotam um pacote mais completo (BARNES et al. 2019a; DABERKOW; MCBRIDE, 2003; GRIFFIN et al., 2004; MILLER et al., 2018; POPP; GRIFFIN; PENDERGRASS, 2002). Barnes et al. (2019a) identificaram produtores que adquiriram máquinas com tecnologia de GPS embarcada, mas que as utilizavam apenas para reduzir sobreposições e evitar falhas nos

¹ MATOPIBA designa uma extensão geográfica que cobre parcialmente quatro estados. O termo resulta da junção das iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

trajetos das operações agrícolas de plantio e tratos culturais; enquanto outros adotaram, adicionalmente, tecnologia de aplicação de nitrogênio a taxa variada. Esses últimos procuram melhorar processos decisórios por meio da utilização mais intensiva das informações oferecidas pelas TAPs. Para isso, realizam investimentos adicionais em conhecimento, aquisição de softwares ou serviços para análise de dados.

Segundo Grego et al. (2014), a difusão de TAPs no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil tem crescido, mas sua aplicação ainda é incipiente. Silva et al. (2011) acrescentam ainda que, com a adoção de TAPs, seria possível obter respostas cada vez mais rápidas e precisas para enfrentar os desafios de expansão e modernização tecnológica do setor canavieiro. Na safra 2018/2019, o Brasil produziu 620,716 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, consolidando-se como o maior produtor do mundo. O estado de São Paulo foi o maior produtor do país naquela safra, respondendo por 332,881 milhões de toneladas (UNICA, 2020). Segundo a Organização de Associações de Produtores de Cana do Brasil (ORPLANA, 2019) a produção de cana do estado pode ser segmentada em dois perfis: cana própria da indústria, o que inclui a produção em áreas próprias, áreas arrendadas e em parceria com produtores²; e, produção realizada por produtores que cultivam a cana-de-açúcar em terras próprias ou de terceiros e fornecem para as indústrias, comumente chamados de fornecedores de cana. Na safra mencionada, a indústria foi responsável por 55,9% da produção de cana do estado e os fornecedores por 44,1%.

Nesse contexto, a presente pesquisa propõe-se a responder algumas questões: Quais são as TAPs adotadas pelos fornecedores de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo? Quais são os fatores determinantes da adoção destas TAPs? Quais fatores influenciam na intensidade de adoção? Ou seja, por que um produtor adota uma ou poucas TAPs, enquanto outro adota um pacote mais completo? Quais as principais barreiras à adoção de TAPs?

As respostas a estas questões contribuirão para a compreensão do processo de adoção de TAPs. Dessa forma, fatores que aceleram sua difusão, bem como fatores que se constituem como barreiras, são identificados, permitindo melhorar a concepção de políticas públicas e estratégias empresariais.

² Parceiros são pessoas físicas ou jurídicas, proprietários de imóveis rurais, que cedem suas propriedades rurais através de contrato de parcerias para terceiros, para o cultivo da cana-de-açúcar. Os terceiros podem ser produtores de cana ou às próprias indústrias (ORPLANA, 2019).

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta tese é identificar quais são os fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

Como objetivos específicos têm-se:

- i. Identificar e descrever as principais TAPs utilizadas por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo;
- ii. Identificar as principais barreiras da adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo;
- iii. Identificar os agentes envolvidos na terceirização da coleta e análise dos dados e dos equipamentos de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo;
- iv. Identificar e estimar o efeito de fatores determinantes da adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.
- v. Identificar e estimar o efeito de fatores determinantes da intensidade de adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

1.2 Justificativa

Como amplamente investigado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2018), o aumento da população mundial implicará por maior demanda por alimentos, biocombustíveis e energia. Entretanto, deve-se evitar a expansão da agricultura em áreas de florestas e outros recursos naturais para não agravar problemas ambientais, tais como o aquecimento global, a escassez de água potável, dentre outros. O próprio crescimento da população implicará na expansão das áreas urbanas, diminuindo ainda mais a oferta de terras para cultivos e pastagens. Desta forma, recomenda-se que o aumento da produção deve ocorrer com menor intensidade no uso do fator terra (BRASIL, 2014), ou seja, com o aumento da produtividade. A difusão de TAPs pode alcançar esse objetivo, pois utiliza de forma mais racional os recursos e reduz riscos de danos ao meio ambiente (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Diversos estudos mostram que a adoção de TAPs aumenta o retorno econômico e reduz impactos ambientais, principalmente quando comparadas com sistemas convencionais de produção (AMORIM et al., 2019; BATCHLOR; BASSO; PAZ, 2002; FINGER et al. 2009; KARATAY; AURICH, 2019; SHOCK; WANG, 2011; SILVA; DO VALE, 2007; STAFFORD, 2000). Karatay e Aurich (2019) analisaram os ganhos

econômicos e ambientais na cultura do trigo, comparando o tratamento com taxa variada de nitrogênio e o tratamento convencional. Os autores utilizaram um método de simulação com dados empíricos de duas áreas de produção distintas. Os resultados indicaram que o tratamento com taxa variada melhorou a qualidade média dos grãos, proporcionando maior retorno econômico do que o tratamento convencional.

Silva e Do Vele (2007) realizaram uma análise de custos e indicadores de rentabilidade e viabilidade econômica nas culturas de milho e soja, comparando sistemas de AP e convencional. Os dados do sistema de AP foram obtidos em uma empresa, cuja área total é de 21 mil hectares (ha), dos quais aproximadamente 9 mil ha são cultivados com milho e o restante com soja. Para os custos de produção do sistema convencional as autoras utilizaram dados secundários disponibilizados por uma entidade governamental. Foi verificado que a viabilidade econômica no sistema de AP resultou em maior produtividade e lucratividade do que no sistema convencional. Amorim et al. (2019), por meio de um estudo de caso, realizaram uma análise comparativa da viabilidade econômica de dois sistemas de aplicação de fertilizantes – a taxa fixa e a aplicação a taxa variada com auxílio de TAPs no cultivo da cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que os custos do sistema de aplicação que adotou TAPs foram inferiores aos do sistema a taxa fixa.

Diante de evidências dos seus benefícios econômicos e ambientais, a AP tem sido tema de intenso debate no Brasil. Uma agenda estratégica para 2014-2030 com objetivo de aumentar a difusão da AP na agropecuária brasileira foi estabelecida a partir dos trabalhos da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. As seguintes ações foram propostas:

- i. Políticas de incentivo – diagnosticar as linhas de crédito existentes e solicitar ajustes quando necessário ao perfil do produtor que utiliza AP; propor linhas de crédito para a aquisição de máquinas, acessórios e serviços técnicos associados ao setor; buscar linhas de crédito para o apoio aos laboratórios; propor seguros diferenciados para os produtores que trabalhem com AP.
- ii. Governança – apoiar a criação de uma entidade civil de âmbito regional/nacional que represente o setor; apoiar a inclusão do tema AP na

formulação de leis orçamentárias (LOA, LDO e PPA)³; criar um fórum permanente para discutir gargalos do setor.

- iii. Diagnóstico do setor – levantar dados de fornecedores, usuários e outros atores do processo (pesquisa, capacitação, desenvolvimento, inovação e extensão).
- iv. Legislação e marco legal – realizar um diagnóstico sobre a legislação tributária que rege o setor de AP; enquadrar a AP como tecnologia ambientalmente correta.
- v. Assistência técnica e extensão rural – difundir as tecnologias existentes e em desenvolvimento; expandir os conceitos de AP para áreas como zootecnia e exploração florestal.
- vi. Formação e capacitação – identificar gargalos de treinamento e capacitação no setor; promover o tema AP dentro do ambiente de ensino.

Desta forma, a presente tese contribui para a geração de informações relacionadas aos fatores determinantes da decisão de adotar TAPs. A compreensão de tais informações pode contribuir para o desenho de políticas governamentais e de estratégias privadas para acelerar a difusão desta inovação. Fabricantes e distribuidores de máquinas e equipamentos em AP, por exemplo, podem utilizar os resultados da pesquisa em suas estratégias de inovação e comercialização de produtos. Consultores e assistências técnicas públicas e privadas podem aperfeiçoar suas ações de difusão. Produtores podem avaliar melhor a adoção de TAPs. Portanto, espera-se que os resultados do presente trabalho possam contribuir significativamente para compreensão do processo de difusão de TAPs na agropecuária brasileira, mais especificamente na produção de cana-de-açúcar e, dessa forma, contribuir para o aumento de sua competitividade.

1.3 Estrutura da tese

Esta tese está dividida em seis capítulos que, juntos, buscam atender aos objetivos acima propostos. O capítulo 1 apresenta a introdução, os objetivos e as justificativas. O capítulo 2 discorre sobre as TAPs, o conceito, a evolução das atividades e principais práticas e tecnologias utilizadas. O capítulo 3 apresenta as teorias de adoção e difusão de tecnologia, aborda os principais modelos teóricos e finaliza com uma revisão de estudos

³ LOA – lei orçamentária anual; LDO – lei de diretrizes orçamentárias; PPA – plano plurianual.

empíricos sobre fatores determinantes da adoção de TAPs. O capítulo 4 aborda os métodos utilizados para seleção e análise dos dados. Inicia-se com a descrição da amostra de produtores, descrição das principais TAPS adotadas, seguindo com a estatística descritiva e os modelos de dados de contagem. Apresentam-se no capítulo 5 as principais barreiras a adoção de TAPs, os principais agentes envolvidos na terceirização da coleta e análise dos dados e dos equipamentos de TAPs, bem como os resultados da estatística descritiva e do modelo de dados de contagem. Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões do estudo, as propostas para estratégias públicas e privadas, as limitações da pesquisa e algumas propostas para pesquisas futuras.

2 PRÁTICAS E TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Embora o termo AP seja recente, cerca de 30 anos, existem trabalhos publicados que mostram o gerenciamento da lavoura de forma localizada e detalhada desde o início do século XX, inclusive com aplicação de insumos a taxa variada, como o calcário. Entretanto, os debates mais intensos sobre AP aconteceram, de fato, a partir do final dos anos 1980, quando os primeiros mapas de produtividade foram gerados na Europa e, as primeiras adubações com doses variadas foram realizadas de forma automatizada nos Estados Unidos (ZHANG, 2015).

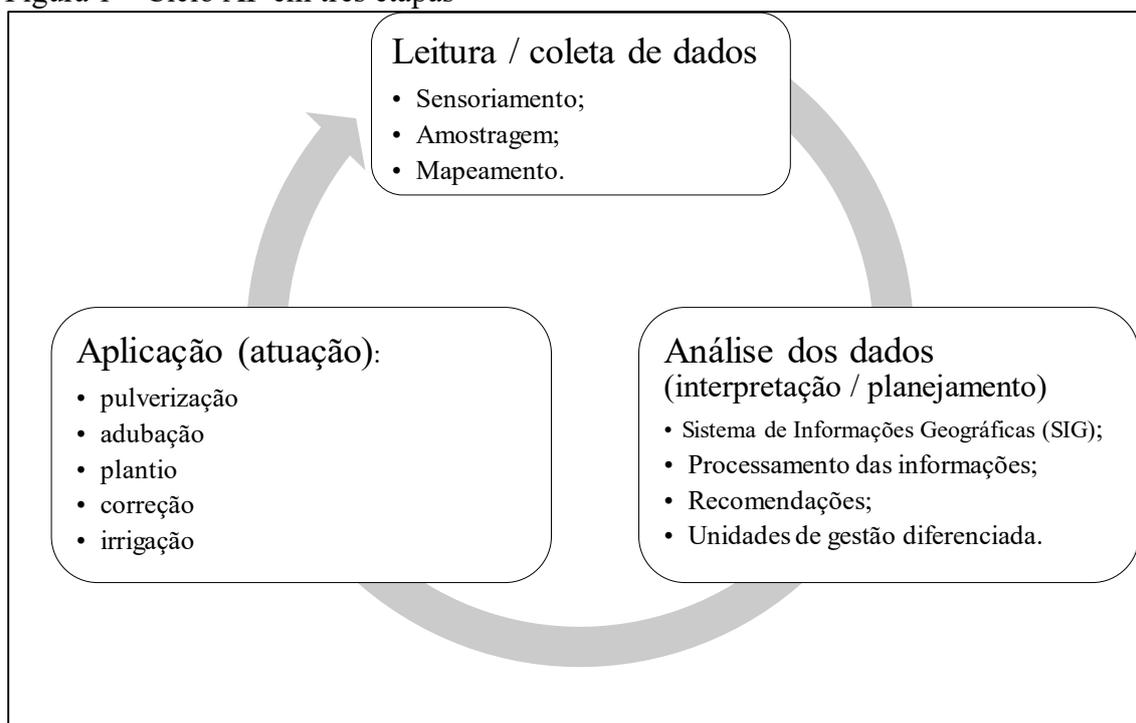
Molin, Amaral e Colaço (2015) salientaram que o Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*), disponível para uso civil a partir de 1990, foi o primeiro fator que contribuiu para o surgimento da AP. Entretanto, até o ano 2000, um erro exagerado no posicionamento – causado intencionalmente pelo governo americano – aumentava os custos de utilização do GPS, pois exigia dos usuários investimento adicional em sistemas de correção diferencial. A popularização dos receptores de navegação e a redução do custo de sua utilização somente ocorreu após o desligamento da degradação do sinal do GPS em maio de 2000 (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

O segundo fator que contribuiu para o crescente interesse em AP está relacionado a estudos realizados na Universidade de Minnesota (EUA) que chamaram a atenção para a variabilidade das lavouras devido às interferências humanas ou à própria formação dos solos. Os pesquisadores responsáveis pelos estudos iniciaram o que hoje é conhecido como Congresso Internacional de Agricultura de Precisão (ICPA – *International Conference on Precision Agriculture*). Criou-se então a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA – *International Society of Precision Agriculture*), congregando muitos técnicos e cientistas em torno do tema. O mercado vinculado à AP desde então cresceu, surgindo empresas especializadas em consultoria, prestação de serviços e produção e distribuição de máquinas, equipamentos e softwares destinados a AP.

A AP envolve um conjunto de atividades representadas por um ciclo que compreende três etapas, conforme mostrado na Figura 1. Na primeira etapa, realiza-se a identificação e a compreensão das diferenças espaciais e temporais dos atributos de interesse. Há nas lavouras regiões com partes que inundam com facilidade e outros que apresentam uma boa drenagem; lavouras que podem variar de solo argiloso para solo arenoso; ou de solo mais ácido para menos ácido; e assim por diante. Assim, deve-se

coletar todos os dados possíveis sobre a variabilidade existente. Em uma segunda etapa, realiza-se a análise, na qual são identificados os fatores que impactam no resultado. Nessa etapa, as recomendações de aplicação ou tratamento são estabelecidas. Por fim, a terceira etapa constitui-se de atividades necessárias à aplicação ou atuação. Realiza-se aplicação dos insumos e os tratos culturais recomendados na segunda etapa.

Figura 1 – Ciclo AP em três etapas



Fonte: Adaptado de Bernardi *et al.* (2014, p. 23).

Para a execução das atividades de cada etapa apresentada na Figura 1 são adotadas TAPs. Para facilitar a apresentação, as próximas três subseções foram construídas seguindo esse agrupamento de atividades. Na primeira subseção serão apresentadas as práticas de sensoriamento, amostragem georreferenciada e mapeamento. Segue-se com a apresentação dos sistemas de informação geográficos (SIGs) e Zonas de Manejo. A terceira subseção apresenta as principais formas de tratamento localizados (aplicação).

2.1 Leitura / Coleta de dados

O ponto de partida para se verificar a existência de variabilidade em uma lavoura, seja ela espacial ou temporal, é a coleta do máximo de informações possíveis. Nesse sentido, o sensoriamento e a amostragem georreferenciada são duas das principais técnicas de coleta de dados utilizadas em AP. Por sua vez, o mapeamento permite que tais informações coletadas sejam representadas de forma gráfica. A Figura 2 apresenta

um resumo das principais técnicas de coleta e mapeamento de dados, as quais estão apresentadas nas subseções a seguir.

Figura 2 – Principais técnicas de coleta e representação de dados

Leitura / Coleta de dados				
Sensoriamento		Amostragem georreferenciada		Mapeamento
Remoto	Proximal	Grade	Direcionada	
<ul style="list-style-type: none"> • Terrestre • Aéreo • Orbital 	<ul style="list-style-type: none"> • Embarcados em equipamentos agrícolas • Portados manualmente 	<ul style="list-style-type: none"> • Por ponto • Por célula 		
				<ul style="list-style-type: none"> • Produtividade • Atributos do solo • Incidência de plantas daninhas • Incidência de pragas • Incidência de doenças • Climático

2.1.1 Sensoriamento

O sensoriamento consiste na utilização de sensores para obter informações sobre a lavoura de forma rápida, não-destrutiva e por vezes à distância. Por meio do sensoriamento pode-se realizar o levantamento planialtimétrico do terreno (sistematização), avaliar as condições nutricionais das plantas, estimar a produtividade, detectar pragas e doenças, avaliar a necessidade hídrica das plantas e prever o tempo (BRANDÃO, 2009).

As primeiras medições por sensoriamento foram realizadas a partir de câmaras acopladas em pássaros, pipas, balões e até foguetes. Atualmente, imagens provenientes de sensores podem ser obtidas por meio de diversas formas, como aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs), satélites, etc (SHIRATSUCHI et al., 2014).

Em geral, pode-se dividir os sensores em duas categorias: (a) sensores ativos – possuem fonte própria de energia eletromagnética, como os radares, os sonares e os sensores ativos de dossel; e (b) sensores passivos – registram a energia eletromagnética emitida (radiação termal) ou refletida (radiação solar) pelo alvo.

O monitor de produtividade – utilizado para mapear a variabilidade da produção – é um exemplo de tecnologia que utiliza um conjunto de sensores para quantificar o fluxo de material que está sendo colhido. Os dados coletados pelo conjunto de sensores podem ser analisados após o processamento ou em tempo real. No primeiro caso, os dados são coletados no campo e processados posteriormente em um escritório para então serem transformados em recomendações. No segundo caso, as intervenções são feitas ao mesmo

tempo em que os dados são coletados no campo, ou seja, a transformação da informação em recomendações é executada de forma concomitante na lavoura (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Molin, Amaral e Colaço (2015) classificam as formas de sensoriamento em remoto e proximal. No sistema remoto de sensoriamento, o sensor não entra em contato com o alvo, ele parte do princípio da reflexão e emissão de energia eletromagnética única de cada alvo. O sensoriamento remoto (SR), em grande medida, opera basicamente em três níveis de coleta de dados: terrestre, aéreo e orbital. No nível terrestre, é comum os sensores serem embarcados em máquinas agrícolas; no nível aéreo, destacam-se as fotografias por drones/VANTs, isto é, por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP); e no nível orbital, ganham espaço as imagens obtidas por satélites. Os sensores que operam nos níveis orbitais e aéreos permitem coletar dados de solo e de planta em extensas áreas e em curto espaço de tempo. Os sensores terrestres permitem obter informações e dados mais detalhados devido a uma maior proximidade do alvo. Vale destacar que, em geral, os SRs foram desenvolvidos para obter parâmetros do solo, embora existam alguns voltados para obter informação de plantas (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

O sensoriamento proximal é realizado por uma categoria de sensores que atuam próximos ao alvo. Esses sensores ficam acoplados a equipamentos agrícolas (sensores embarcados) ou portados manualmente. Pode-se considerar três tipos de sensoriamento proximal (BRASIL, 2013; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015):

(a) Sensores de plantas – utilizados quando se deseja mensurar atributo específico da vegetação, como a variação de biomassa ou o teor de clorofila das culturas, possibilitando desde recomendações de aplicação de nitrogênio a taxa variada até a identificação de infestação de plantas daninhas.

(b) Sensores de solo – utilizados para identificar diferentes parâmetros do solo, tais como textura, matéria orgânica, pH, capacidade de trocas catiônicas, concentração de nutrientes e compactação do solo. Esses sensores permitem um número maior de pontos de amostragem, propiciando ganho de informação e maior densidade amostral;

(c) Sensores de qualidade do produto – utilizados para identificar o melhor momento para realizar a colheita, bem como para separar o produto colhido de acordo com padrões variados de qualidade (“colheita seletiva”). Entretanto, esse é um tipo de sensoriamento ainda incipiente.

2.1.2 Amostragem georreferenciada e direcionada

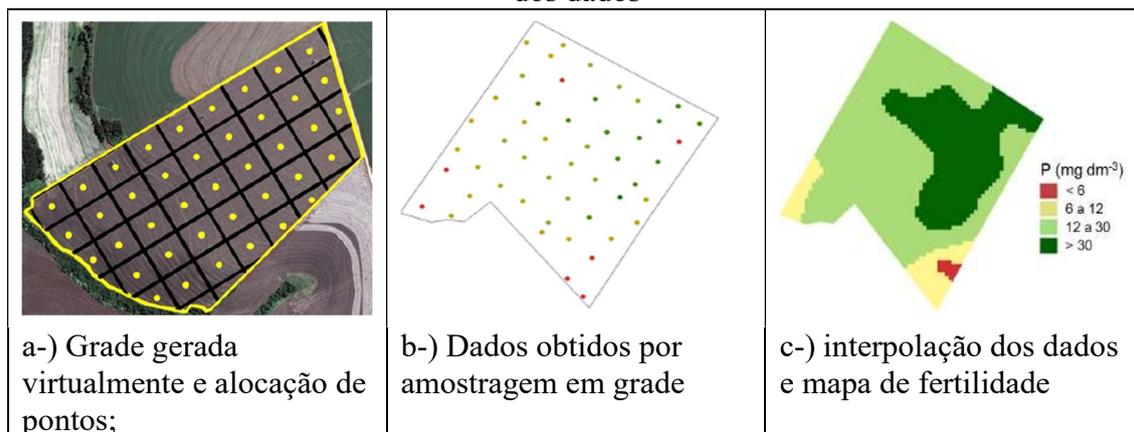
A AP requer a coleta de uma grande quantidade de dados, normalmente relacionados a produtividade, topografia, atributos do solo, incidências de plantas daninhas, pragas, doenças e até dados climáticos. Muitos desses dados podem ser obtidos por amostragem, que consiste em caracterizar um todo a partir da avaliação de pequenas porções representativas do mesmo (amostras) (OLIVEIRA, 2017). Nas atividades agrícolas, a amostragem pode ser utilizada quando se torna inviável, técnica ou economicamente, obter informações sobre os fatores envolvidos na produção em sua totalidade.

Por meio de amostragem pode-se obter informações a respeito de vários fatores que determinam a produção agrícola: (i) no solo – as propriedades físicas e químicas; (ii) no tecido vegetal – as condições nutricionais de uma cultura; (iii) na ocorrência de pragas e doenças – a incidência e nível de infestação nos talhões.⁴ Na AP, a amostragem permite determinar a distribuição espacial de variáveis, identificando suas possíveis variações. O número de amostras em uma amostragem georreferenciada é significativamente maior, quando comparado com o manejo tradicional. Adicionalmente, o posicionamento da amostra deve ser conhecido, isto é, deve ser georreferenciado. Neste caso, a amostra terá sua posição no espaço definida por um sistema de localização, normalmente registrada por meio de um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) (BRASIL, 2013; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; COLAÇO; MOLIN, 2015)

A amostragem georreferenciada pode ser caracterizada por dois métodos distintos: amostragem em grade e direcionada. A amostragem em grade pode ser realizada por ponto e por célula. A amostragem georreferenciada em grade por ponto consiste em gerar virtualmente uma grade sobre o talhão (ver Figura 3). Geralmente, um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é utilizado para gerar essa grade. O sistema irá gerar quadrados regulares dividindo o talhão. Um ponto amostral georreferenciado será definido em cada um dos quadrados. Amostras de solo serão coletadas em torno de cada ponto amostral georreferenciado. Com os resultados laboratoriais de cada amostra, gera-se um mapa dos pontos e, em seguida, realiza-se a interpolação dos dados para obter um mapa final (COLAÇO; MOLIN, 2015).

⁴ Entende-se talhão como a unidade mínima de cultivo de uma propriedade que é construído com base no relevo e no planejamento de mecanização.

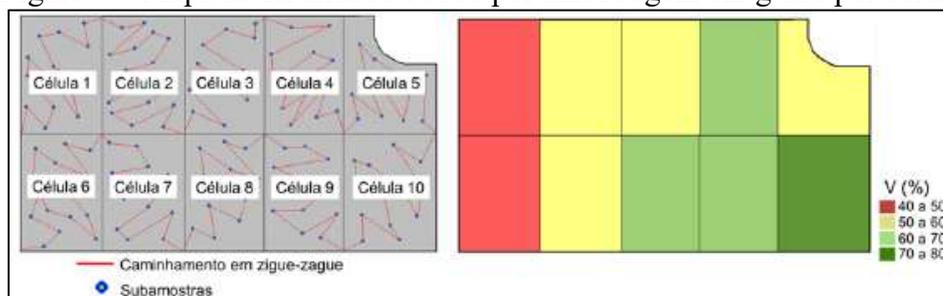
Figura 3 – Geração de grade virtual, obtenção de dados por amostragem e interpolação dos dados



Fonte: COLAÇO; MOLIN (2015, p. 1 e 2)

Por sua vez, a amostragem georreferenciada em grade por célula é realizada dividindo-se o talhão em células (subáreas), não necessariamente regulares (ver Figura 4). Cada uma dessas células será representada por uma amostra composta de subamostras. Entretanto, diferente da amostragem por ponto, as amostras são coletadas ao longo de toda a área de cada célula. Com o resultado da análise, a recomendação será feita para o total da célula, dispensando a interpolação para geração do mapa final.

Figura 4 – Mapa de fertilidade obtido por amostragem em grade por célula



Fonte: COLAÇO; MOLIN (2015, p. 4)

A amostragem direcionada, como indicado pelo próprio nome, é realizada a partir de mapas anteriores, os quais trazem informações que permitem direcionar a coleta a determinados pontos. Dessa forma, a amostragem direcionada permite a investigação de locais específicos no talhão (BRASIL, 2013; COLAÇO; MOLIN, 2015). Por exemplo, o produtor tem em mãos o mapa de produtividade de determinado talhão e gostaria de definir a próxima adubação. Neste caso, o produtor definirá as áreas a serem amostradas com base nas diferenças de produção observadas nos mapas de produtividade anteriores.

Se existir no talhão uma mancha com elevada produtividade e outra com baixa produtividade, provavelmente duas amostras georreferenciadas serão necessárias, uma para cada mancha. Molin, Amaral e Colaço (2015) recomendam que a amostragem direcionada seja utilizada em sistemas de produção em que práticas e tecnologias de AP já estejam consolidadas. Nesse caso, a maior quantidade de dados disponíveis sobre a área poderá permitir um melhor direcionamento da amostragem.

2.1.3 Mapeamento

Quando as informações sobre as variáveis que determinam a produção estão georreferenciadas, torna-se possível organizá-las e processá-las por meio de uma variedade de técnicas de interpolação e geoestatística, gerando-se mapas. As informações contidas nesses mapas, bem como o histórico de uso da área e as observações de campo, permitirão conceber recomendações (COELHO, 2005).

As imagens de satélite, as fotografias aéreas, a videografia e outras tecnologias têm sido utilizadas para identificar as manchas existentes em um talhão. Porém, o monitoramento de colheita ainda é a forma mais conhecida de mapeamento. O mapa de colheita, ou de produtividade, como também é conhecido, é a representação da lavoura por meio de um conjunto de pontos, em que cada ponto representa uma pequena porção da área (BRASIL, 2013). O mapa de colheita é uma prática eficiente para identificar a variabilidade nas lavouras, embora não identifique suas causas. Desta forma, permite mostrar a resposta real da cultura ao manejo adotado (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

O monitoramento e avaliação dos atributos físicos e químicos do solo podem ser realizado por meio de uma amostragem intensiva, combinada com métodos de modelagem e geoestatística. Este tipo de mapeamento contém informações sobre principais atributos físicos do solo – composição granulométrica, densidade, teor de umidade e condutividade elétrica. O mapeamento desses atributos tem grande relevância na AP, pois permite ao produtor verificar o potencial produtivo de sua lavoura e, assim, adotar recomendações que aumentam a eficiência no uso de sementes, fertilizantes, defensivos e outros insumos (CRUZ *et al.*, 2014).

As propriedades químicas do solo podem ser representadas por mapas de fertilidade. Esses mapas informam a disponibilidade dos nutrientes presentes no solo e, assim, permitem conceber recomendações de aplicação de fertilizantes de forma variada.

Os primeiros experimentos com AP foram conduzidos com informações a respeito da variabilidade dos nutrientes, obtidas por meio de amostragem de solo em malha (CRUZ *et al.*, 2014).

Entre as práticas de mapeamento existentes, vale destacar os mapas de infestação de plantas daninhas. Estes surgiram em função da percepção de que a distribuição das infestações ocorre geralmente em “reboleiras”. Assim, mapear a distribuição das infestações de plantas daninhas permite tratar a lavoura de maneira variável, minimizando a utilização de defensivos e os impactos ao meio ambiente. Além da localização das áreas de ocorrência, o mapeamento consiste em conhecer os níveis de infestações, espécies presentes e o grau de contagiosidade (SHIRATSUCHI, 2001). As técnicas de mapeamento das plantas daninhas podem ser compreendidas em dois grandes grupos: (i) detecção manual – avaliação feita visualmente por avaliadores que percorrem a área com quadriciclos ou colhedoras para mensurar a presença de plantas daninhas, sendo a área dividida em grades (“grades”); e (ii) detecção automatizada – utilizam-se técnicas e tecnologias de sensoriamento para realizar o mapeamento (LUTMAN; PERRY, 1999).

Além da infestação de plantas daninhas, as pragas e doenças também interferem negativamente no rendimento de uma cultura. A informação sobre a distribuição espacial de pragas e doenças é fundamental em estratégias de AP que visem o seu controle nas propriedades. Santi *et al.* (2014) destacam que, diferente de outras variáveis mapeadas por meio de TAPs, o manejo fitossanitário de pragas e doenças requer o conhecimento da população das espécies antes do controle das mesmas.

2.2 Análise dos dados (interpretação/planejamento)

Conforme mostrado na Figura 1, a análise dos dados representa a segunda etapa do ciclo AP. Toda a informação coletada preliminarmente deve ser analisada, permitindo recomendações de atuação. Os dados referentes a produtividade, atributos físico-químicos do solo, infestação de pragas, doenças e plantas daninhas, informações climatológicas, dentre outras, são processados e avaliados por técnicas estatísticas e matemáticas, juntamente com o conhecimento agrônômico. Dessa forma, pode-se propor tratamentos, reconhecendo-se a variabilidade das lavouras.

Dentre as técnicas de gerenciamento de informações existentes, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem ganhado espaço na AP. Trata-se de sistemas computacionais que geram dados espaciais a partir de um sistema de coordenadas

geográficas (BONHAM-CARTER, 1994). O SIG é considerado por muitos autores como o principal sistema na fase de análise dos dados, pois gerencia as informações, possibilitando a análise da variabilidade espacial e recomendando aplicações diversas (agronômicas, econômicas, biológicas, ambientais, etc.) (BERRY, 1999; GOSWAMI; SAXENA; BAIRAGI, 2012; INAMASU *et al.*, 2011).

Filippini-Alba, Berny e Costa (2009) elencam quatro funções principais de um SIG: (i) banco de dados geográficos; (ii) procedimentos de interpolação; (iii) extração (por condição, seleção, proximidade e integração); e (iv) classificação. As duas primeiras envolvem coleta de dados e análises iniciais. As duas últimas possibilitam modelagens mais complexas que permitem avaliar desde a variabilidade de um campo a questões de zoneamento edafoclimáticas.

Em alguns casos, o volume de dados coletados pode ser muito grande, o que exige meios digitais compatíveis com as necessidades de registro, tratamento ou armazenamento. O SIG atende a essas demandas, fornecendo uma base para integração de dados de diversas fontes de informação. O SIG ajusta informações digitais por meio de modelos estatísticos, matemáticos e com a utilização de algoritmos lógicos, no qual mapas (seja de atributos do solo, produtividade, infestação, etc.) são sobrepostos na tentativa de encontrar as melhores respostas a partir das informações neles contidas (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Os mapas são interpolados por métodos geoestatísticos, sistematizando a informação e efetuando, posteriormente, a análise da variabilidade espacial. Isto permite ao usuário ter em mãos uma recomendação de aplicação mais robusta e confiável.

Outro método de interpretação e planejamento consiste na delimitação de Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs), também conhecidas como Zonas de Manejo ou *Site-Specific Management Unit*. UGDs são áreas delimitadas na lavoura com mínima variabilidade, estáveis ao longo do tempo, e insensíveis aos tratamentos agrônômicos de rotina. Sua implementação depende do uso de informações históricas. Por exemplo, a partir de dados de produção e aplicação de fertilizantes referentes a safras anteriores, pode-se delimitar uma unidade da lavoura que não responde à adubação devido a limites causados por características particulares do solo naquela área. Portanto, a delimitação de UGDs, em grande medida, parte do mapeamento dos parâmetros do solo, como textura, tipo e fertilidade, bem como de mapas de fertilidade acompanhados e interpolados ao longo do tempo. Áreas com diferentes potenciais de produção e, portanto, diferentes necessidades de tratamento são delimitadas no talhão (MOLIN; AMARAL; COLAÇO,

2015). Essa prática é considerada por alguns pesquisadores como o objetivo final e mais nobre de um sistema de AP (ADAMCHUK et al., 2017; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; SCUDIERO et al., 2013).

2.3 Aplicação (atuação)

Considera-se como essência da AP o tratamento localizado da lavoura, o qual pode ser realizado nas mais diversas etapas de cultivo – preparo do solo, correção, plantio, adubação, controle de pragas, doenças, plantas invasoras, irrigação, etc. A princípio, qualquer ação agronômica pode ser gerida localizadamente, desde que a característica de interesse varie de forma significativa, e que tanto o mapeamento quanto a atuação sejam viáveis econômica e tecnicamente. Nesse sentido, algumas atuações têm sido mais comuns que outras, seja por ter maior disponibilidade de equipamentos e pesquisa, seja pela complexidade de cada tipo de tratamento (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Algumas técnicas de tratamento localizado são brevemente apresentadas a seguir.

Tratamento localizado na aplicação de fertilizantes e corretivos. As recomendações para este tipo de tratamento são, geralmente, realizadas a partir de amostragem de solo em grade (fertilizantes fosfatados, potássicos e calcário). Entretanto, algumas intervenções têm sido feitas por meio de unidades de gestão diferenciada (UGD) e do uso de sensores, como é o caso de adubos nitrogenados (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Os equipamentos para aplicação localizada de fertilizantes e corretivos podem ser divididos em dois grupos:

- (i) Equipamentos convencionais, ou seja, sem controlador de taxa variada. Para este caso a recomendação deve ter sido feita por UGDs ou mapas gerados por amostragem georreferenciada por célula, em que os tratamentos são uniformes dentro de cada área delimitada. Porém, a regulagem do equipamento é feita de forma manual ao se iniciar a aplicação dentro de cada UGD ou célula.
- (ii) Equipamentos automatizados – são essenciais para aplicações mais detalhadas e em larga escala, pois a praticidade e rendimento são bem maiores que os sistemas manuais. Para aplicação automatizada de insumos a taxa variada é necessário o seguinte conjunto básico de equipamentos (de fábrica ou adaptados): um receptor GNSS, que fornece

informações de posicionamento e velocidade; um controlador, que processa as recomendações de doses de aplicação de acordo com as coordenadas; e um atuador, que recebe as informações do controlador e efetivamente controla a aplicação de doses variadas.

Tratamentos localizados em pulverizações. Este tipo de tratamento localizado tem recebido muita atenção de pesquisadores e usuários de AP. Molin, Amaral e Colaço (2015) acreditavam que esta forma de tratamento não estava mais difundida do que a adubação porque, em geral, a investigação dos parâmetros e recomendações fitossanitárias são mais trabalhosas e complexas. Para os autores, o tratamento localizado em pulverizações tem grande potencial de crescimento, dado que permite grande redução no uso de insumos de alto valor, propiciando ganhos econômicos, além dos ambientais.

Dois formas são comumente utilizadas para variar a taxa de aplicação em pulverizações. A primeira consiste na variação da dose do princípio ativo, mantendo o volume de calda constante. Na segunda, o volume de calda varia, com a alteração da vazão. Essa última pode ser realizada pela variação de vazão e do número de bicos, por sistema de controle de vazão por pulsos ou por variação na pressão de aplicação.

Tratamento localizado na semeadura. Os equipamentos de semeadura a taxa variada são utilizados na AP. Esses equipamentos possuem sistemas que se assemelham aos da adubação a taxa variada, compreendendo receptor, controlador e atuador. A aplicação de semente a taxa variada, geralmente, baseia-se nas diferenças de potencial produtivo de cada campo, considerando as recomendações geradas a partir das avaliações das características do ambiente, dos atributos do solo, bem como de dados históricos, como produtividade e índices pluviométricos. Normalmente as recomendações são realizadas para UGDs ou mapas de grade por ponto. Uma semeadura de maior densidade é realizada nas unidades com alto potencial produtivo, dado que podem responder melhor ao aumento populacional. O inverso também é verdadeiro, ou seja, menor densidade em regiões de baixo potencial produtivo (BRASIL, 2013; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Tratamento localizado no preparo do solo. Operações de preparo do solo, tais como subsolagem e escarificação em áreas compactadas, e mesmo a aração, podem seguir recomendações de tratamento localizado. Na AP, duas técnicas de preparo têm sido

observadas. Na primeira, o preparo ocorre apenas nos locais críticos de compactação, deixando as demais áreas sem o revolvimento intenso da terra. Na segunda, varia-se a profundidade no revolvimento. Ambas as técnicas podem ser utilizadas conjuntamente (INAMASU et al., 2011; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015), destacando-se o uso em operações de subsolagem. O tratamento localizado no preparo do solo tem sido pouco difundido, apesar de permitir um melhor rendimento operacional, com redução de custos e melhor qualidade do preparo (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Tratamento localizado na irrigação. O sistema de irrigação de precisão possibilita a aplicação espacializada da água, isto é, variando as doses de água de acordo com a necessidade de cada campo e, portanto, reduzindo o seu consumo (COHEN et al., 2017; KIM; EVANS; IVERSEN, 2008). Normalmente são utilizados sensores que coletam informações como umidade do ar, temperatura e quantidade de água presente no solo. Informações sobre os atributos (físicos e químicos) do solo e as necessidades hídricas da cultura de interesse são também consideradas.

3 TEORIAS DE ADOÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS

Este capítulo apresenta em três seções os fundamentos teóricos para identificar os fatores determinantes da adoção de TAPs. A primeira seção tem como objetivo apresentar a distinção dos conceitos de invenção, inovação, difusão e adoção. Na sequência, apresentam-se as diferentes abordagens teóricas sobre adoção e difusão de tecnologias. Por fim, uma seção é dedicada a apresentar alguns estudos empíricos realizados sobre adoção e difusão de TAPs.

3.1 Invenção, Inovação, Adoção e Difusão de Tecnologias

A compreensão do processo de inovação tecnológica exige clareza e distinção de quatro conceitos: a invenção, a inovação, a adoção e a difusão. A invenção pode ser definida como uma ideia, esboço ou modelo para um novo ou melhorado artefato, produto, processo ou sistema; porém ainda não introduzido no mercado (SCHUMPETER, 1939). A inovação caracteriza-se pelo uso econômico da invenção por meio de sua aceitação no mercado (ROGERS, 2003). A inovação, portanto, gera impacto no desenvolvimento econômico, pois pode criar, inclusive, rupturas que causam transformações além dos limites da firma (CONCEIÇÃO et al., 2006).

Em termos evolutivos, as seguidas edições do Manual de Oslo contribuem para definição de conceitos de inovação e de indicadores para sua mensuração. A primeira edição, publicada em 1992, trazia um enfoque de inovação para indústrias de manufatura. A segunda edição, de 1997, incorporou mais conceitos, definições e metodologias para incorporar experiências, bem como maior entendimento do processo de inovação (OECD, 1997). A partir da terceira edição, de 2005, a inovação passou a ser discutida em termos de implementação de um novo ou melhorado produto ou serviço, processo, método organizacional ou de marketing, sendo que cada uma dessas inovações abrange uma ampla gama de atividades das organizações (OECD, 2005). Em sua 4ª edição (OECD, 2018), as inovações passaram a ser discutidas em dois âmbitos: aquelas que mudam os produtos da empresa (inovações de produto) e inovações que mudam os processos de negócios da empresa (inovações de processos de negócios).

Em suas diferentes edições, o Manual de Oslo lida com mudanças que envolvem um grau considerável de novidade para a firma. Isso exclui mudanças pequenas ou com grau de novidade insuficiente. Entretanto, uma inovação não precisa ser desenvolvida pela própria empresa, mas pode ser adquirida de outras empresas ou instituições por meio

do processo de difusão. A difusão é o meio pelo qual as inovações se disseminam, por meio de canais de mercado ou não, a partir da primeira introdução para diferentes consumidores, países, regiões, setores, mercados e empresas. Sem difusão uma inovação não tem impacto econômico (OECD, 2005).

Para Schumpeter (1939; 1988) a adoção de uma inovação ocorre quando uma firma ou indivíduo aceita uma tecnologia em um dado momento no tempo e passa a utilizá-la de forma contínua⁵. A difusão de uma inovação pode ser definida como o processo pelo qual um conjunto de firmas ou indivíduos, no decorrer do tempo, a adotam. Deste modo, o ritmo do crescimento e as mudanças de produtividade em um sistema econômico podem ser explicadas por um processo de difusão de inovações. Embora a adoção e difusão de inovação sejam processos interligados, vale destacar que são distintos (SUNDING; ZILBERMAN, 2001). A difusão é uma macroperspectiva em que se observam fatores, tais como: o tempo e as condições socioeconômicas que determinam a propagação da inovação. Em contrapartida, a adoção é uma microperspectiva que analisa a mudança do ponto de vista de indivíduos ou firmas (FEDER; UMALI, 1993).

A partir dos trabalhos de Schumpeter (1939), emergiram teorias econômicas objetivando explicar o processo de mudança tecnológica nas firmas. Nelson e Winter (1982) propuseram uma teoria econômica evolucionária, na qual o processo de mudança tecnológica fundamenta-se na geração de inovações ou imitação de práticas de outras firmas pelos agentes econômicos, bem como na seleção das inovações disponíveis no mercado. Para os autores, as firmas procuram manter e/ou ampliar seus lucros e para isso buscam criar ou adotar novos produtos, tecnologias, rotinas e técnicas de produção. A teoria evolucionária ainda postula que os agentes econômicos têm um comportamento de busca por resultados satisfatórios. Quando as firmas obtêm lucros insatisfatórios, elas reveem as suas rotinas (estratégias) e iniciam um processo de busca por novas tecnologias que podem ser desenvolvidas internamente ou adquiridas no mercado (NELSON; WINTER, 1982). Assim, a difusão de novas tecnologias é tão importante quanto as inovações. A geração de novas ideias é o primeiro passo para o progresso tecnológico, mas sem a difusão, as inovações ficariam restritas a poucos indivíduos ou firmas específicas, e os impactos no desenvolvimento econômico poderiam ser irrelevantes (HALL, 2005).

⁵ É comum observar na literatura o uso dos termos “Adoção de Tecnologia” e “Adoção de Inovação” como sinônimos.

As competências tecnológicas de uma firma representam os recursos necessários para gerar e gerir a mudança tecnológica, incorporados em indivíduos e sistemas organizacionais (BELL; PAVITT, 1993). Dentre tais recursos, destacam-se o conhecimento, em suas dimensões tácita e explícita, e as estruturas e relações institucionais internas e externas às organizações. Desta forma, o processo de inovação difere de acordo com cada setor industrial, em muitas dimensões, como o tamanho das firmas, área do conhecimento, direcionamento estratégico de acumulação tecnológica, o tipo de inovação realizado, dentre outros.

Segundo Bell e Pavitt (1993), o setor agropecuário segue um perfil de mudança e acumulação tecnológica em que a maioria das inovações se originam em fornecedores de máquinas e produtos químicos. Neste setor, as oportunidades de acumulação tecnológica estão focadas principalmente em melhorias e modificações nos métodos de produção e insumos associados e, raramente, no desenvolvimento de novos produtos. A mudança tecnológica advém quase que exclusivamente de fornecedores de bens de capital e outros suprimentos de produção fabricados por indústrias fora do setor de aplicação, caracterizando-se como um processo de difusão de inovações e melhores práticas com foco em melhorias incrementais e aumento de eficiência (BELL; PAVITT, 1993; PAVITT, 1984). Portanto, grande parte das inovações tecnológicas dos sistemas agroindustriais não são geradas pelos agricultores ou pecuaristas, mas pelos setores de sementes, defensivos animais e vegetais, alimentação animal, máquinas e equipamentos.

Significativa atenção tem sido dada aos estudos que buscam explicar o processo de difusão e adoção de tecnologias no setor agropecuário. A justificativa do elevado interesse nessas temáticas, em grande parte, se deve tanto à importância de tais processos na determinação do crescimento econômico, quanto às dificuldades que impedem que muitas inovações sejam adotadas pelos agricultores, mesmo que claramente vantajosas (FEDER; UMALI, 1993). No caso da agricultura brasileira, segundo Souza Filho et al. (2011), os determinantes da adoção e difusão de inovações compreendem fatores relacionados à diversidade e heterogeneidade das regiões do país, bem como às características dos produtores e das propriedades. A compreensão do papel destes fatores tornou-se peça importante na formulação de políticas e estratégias tais que sejam capazes de alavancar a competitividade de produtores e regiões.

A análise destes fatores pode ser feita a partir de diversas abordagens (modelos), as quais serão apresentadas nas próximas duas subseções. A primeira apresentará brevemente alguns modelos teóricos presentes na literatura que tratam da difusão de

tecnologia. Na segunda, busca-se apresentar alguns fatores que foram apontados em diversos estudos empíricos como determinantes para adoção de TAPs.

3.2 Modelos de difusão de tecnologia

A adoção e difusão de tecnologias têm sido investigadas a partir de duas “visões” distintas: a adoção e difusão tecnológica, e a complementaridade estratégica e organizacional (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007). Na primeira abordagem, três principais modelos teóricos têm sido utilizados para explicar o processo de difusão de tecnologias: o modelo epidêmico, o modelo dos efeitos de classificação e os modelos de efeitos de ordem e de estoque (*order and stock effects*) (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007; VINHOLIS, 2013). Já na segunda abordagem, desenvolvida a partir do estudo de Milgrom e Roberts (1990), a adoção de novas tecnologias é vista como resultado de um processo de mudança organizacional onde firmas procuram aperfeiçoar suas práticas estratégicas e organizacionais (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007). As duas abordagens, com seus distintos modelos teóricos e principais estudiosos, estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Modelos teóricos que explicam a adoção e difusão de tecnologias.

Visões teóricas	Modelos Teóricos	Dinâmica do modelo	Principais estudiosos
Adoção e difusão tecnológica	Epidêmicos	Velocidade de contágio	- Griliches, 1957 - Mansfield, 1961
	Efeitos de classificação	Heterogeneidade dos potenciais adotantes	- David, 1969 - Davies, 1979 - Stoneman, 1981
	Efeitos de ordem e estoque	Número de adotantes existentes (estoque) e a posição da firma na ordem de adoção (ordem)	- Reinganum, 1981 - Fudenberg e Tirole, 1985 - Karshenas e Stoneman, 1993
Complementaridade estratégica	Mudança organizacional	A adoção de uma nova tecnologia gerará melhor desempenho à mesma se houver sinergias com outras escolhas da firma	- Milgrom e Roberts, 1990

Fonte: Adaptado de Bocquet, Brossard e Sabatier (2007) e Vinholis (2013, p. 57)

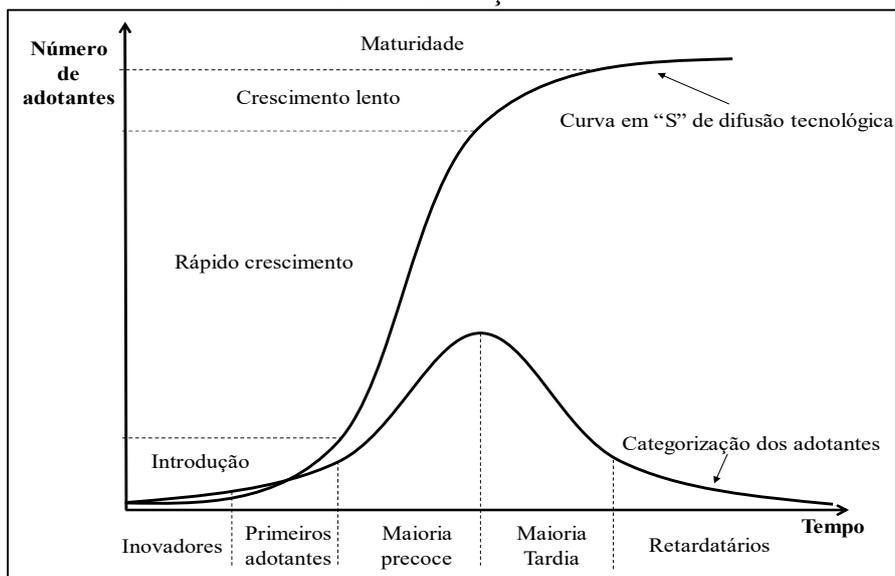
Os modelos epidêmicos recebem este nome porque foram inicialmente aplicados para descrever o contágio em uma epidemia de doença infecciosa (FURTADO, 2006). Indivíduos não infectados (não adotantes) são contaminados por contato com indivíduos já infectados (adotantes). Na medida em que o número de infectados aumenta, a probabilidade de novos contatos se eleva, aumentando a velocidade de disseminação da

doença. Contudo, como a população é finita, o número de indivíduos não infectados diminui, restando os mais resistentes à contaminação, o que retarda o processo.

A dinâmica desses modelos é determinada pela velocidade de contágio da população, que está associada à relação existente entre a população afetada, a população não afetada e o coeficiente de contágio. Por analogia, a difusão de tecnologias seria explicada pelo mecanismo de transmissão de informações sobre a tecnologia, seja por meio de fonte impessoal ou por meio da difusão de informação “boca a boca”. A suposição básica é a de que leva tempo para que a informação, principalmente informação sobre os riscos envolvidos, alcance todos os usuários (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007; GEROSKI, 2000). Na medida em que as primeiras adoções ocorrem e o tempo passa, o número de adotantes aumenta e, conseqüentemente, a informação sobre o uso da nova tecnologia é continuamente acumulada. O risco associado com a adoção se reduz e o número de firmas decidindo pela adoção aumenta rapidamente. Por um lado, o aumento do número de adotantes aumenta a atratividade da inovação; por outro lado, reduz a proporção de potenciais novos adotantes.

O arcabouço teórico adotado pelos autores que utilizaram os modelos epidêmicos apoia-se em modelos logísticos. Zvi Griliches introduziu o estudo da difusão tecnológica na teoria econômica e, também, foi o primeiro autor que aplicou modelos epidêmicos à difusão tecnológica (FURTADO, 2006; BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007). O estudo de Griliches (1957) utilizou uma função logística para explicar o processo de difusão da adoção de novas variedades de milho híbrido nos Estados Unidos. O modelo constatou que a curva de difusão tecnológica teria um formato sigmoide, ou seja, de “S”, conforme apresentado na Figura 5. Este e outros trabalhos, que utilizavam da curva “S” para descrever o processo de difusão da adoção de tecnologia, possibilitaram a sua generalização em diversas outras áreas, resultando em outros modelos de difusão de tecnologia que complementam o epidêmico (MANSFIELD, 1961; SUNDING; ZILBERMAN, 2001).

Figura 5 – Curva em "S" de difusão de tecnologia e Categorização do adotante da inovação



Fonte: adaptado de Rogers (2003, p. 281)

A curva em “S” de difusão de tecnologia apresentada na Figura 5 pode ser descrita por 4 fases distintas: introdução da inovação, rápido crescimento, crescimento lento e maturidade. A inovação, quando introduzida no mercado pela primeira vez, é adotada apenas por alguns agentes. Após esta fase inicial, observa-se uma fase de rápido crescimento, aumentando a taxa de adoção. À medida que o tempo passa, o número de potenciais adotantes diminui, fazendo com que a taxa de adoção diminua. Eventualmente, um limite é atingido (maturidade). A partir desse ponto, não há novas adoções. Na maioria dos casos, o teto é alcançado antes de todos os agentes terem adotado a inovação. Para aqueles que optam por não adotar, a tecnologia pode não ser rentável, pode não ser viável, ou uma tecnologia ainda mais recente pode ter sido adotada em seu lugar (ROGERS, 2003; RUBAS et al., 2008).

Nos modelos de efeitos de classificação apresentados no Quadro 1, a heterogeneidade dos potenciais adotantes é considerada na explicação do processo de adoção. Autores seminais dessa abordagem (DAVID, 1969; DAVIES, 1979; STONEMAN, 1981) argumentam que o tamanho, as expectativas em relação à tecnologia, o acesso a recursos financeiros, o poder de mercado, dentre outras características das firmas são fatores determinantes do processo. Por meio de modelos econométricos, analisa-se o impacto do acesso diferenciado às informações, a aversão ao risco e outras características específicas da firma na decisão de adotar (BOCQUET; BROSSARD; SABATIER, 2007; KARSHENAS; STONEMAN, 1993).

Para Karshenas e Stoneman (1993), os modelos de efeitos de classificação consideram a decisão individual de adotar como resultado do cálculo do custo-benefício dos potenciais adotantes. O benefício esperado da tecnologia dependerá do efeito das diferentes características das empresas. A depender destes efeitos, uma firma poderá alcançar benefícios líquidos superiores às demais empresas. Essas diferenças nos benefícios líquidos das empresas levam a diferentes datas de adoção. Presume-se que as empresas que possuem expectativa de maiores benefícios adotam antecipadamente a nova tecnologia, já as empresas que possuem expectativa de menores benefícios adotam tardiamente. Desta forma, os modelos de efeito de classificação são operacionalizados classificando os potenciais adotantes em termos dos benefícios líquidos com a adoção (do mais alto para o mais baixo).

A terceira abordagem de difusão tecnológica – efeitos de ordem e de estoque – busca compreender por que firmas com características similares adotam uma nova tecnologia em diferentes momentos (REINGANUM, 1981). Karshenas e Stoneman (1993) afirmam que a decisão de adotar depende do número de adotantes existentes (efeitos de estoque) e da posição da firma na ordem de adoção (efeito de ordem). Como apresentado na Figura 5, Rogers (2003) descreve cinco categorias de adotantes com base na sua capacidade de inovação: inovadores; primeiros adotantes; maioria precoce; maioria tardia; e retardatários (ROGERS, 2003).

A segunda “visão” apresentada no Quadro 1 trata da complementaridade estratégica e organizacional, conforme defendida inicialmente por Milgrom e Roberts (1990). Estes autores sugerem que a adoção de uma nova tecnologia por uma firma somente irá gerar um melhor desempenho se houver sinergia com outras escolhas da firma. Por exemplo, as tecnologias de informação geram retornos maiores se estiverem associadas à adoção de práticas, como a comercialização com segmentos específicos e o emprego de trabalhadores altamente qualificados. A estratégia e a estrutura das firmas evoluem no tempo com a adoção de inovações que são complementares às práticas e políticas existentes. Sugere-se que a firma, ao se adaptar às mudanças ambientais, apresenta maior probabilidade de obter lucro com novas atividades que estejam relacionadas com áreas complementares às atividades recentemente implantadas. Assim, uma das habilidades dos tomadores de decisão é reconhecer sinergias nas novas tecnologias disponíveis, ou complementaridades, com as atividades existentes.

Autores como James et al. (2011) utilizaram o conceito de complementaridade para explicar a alteração tecnológica na indústria automobilística. A complementaridade existe quando a mudança em um ou mais elementos do sistema facilita a alteração em

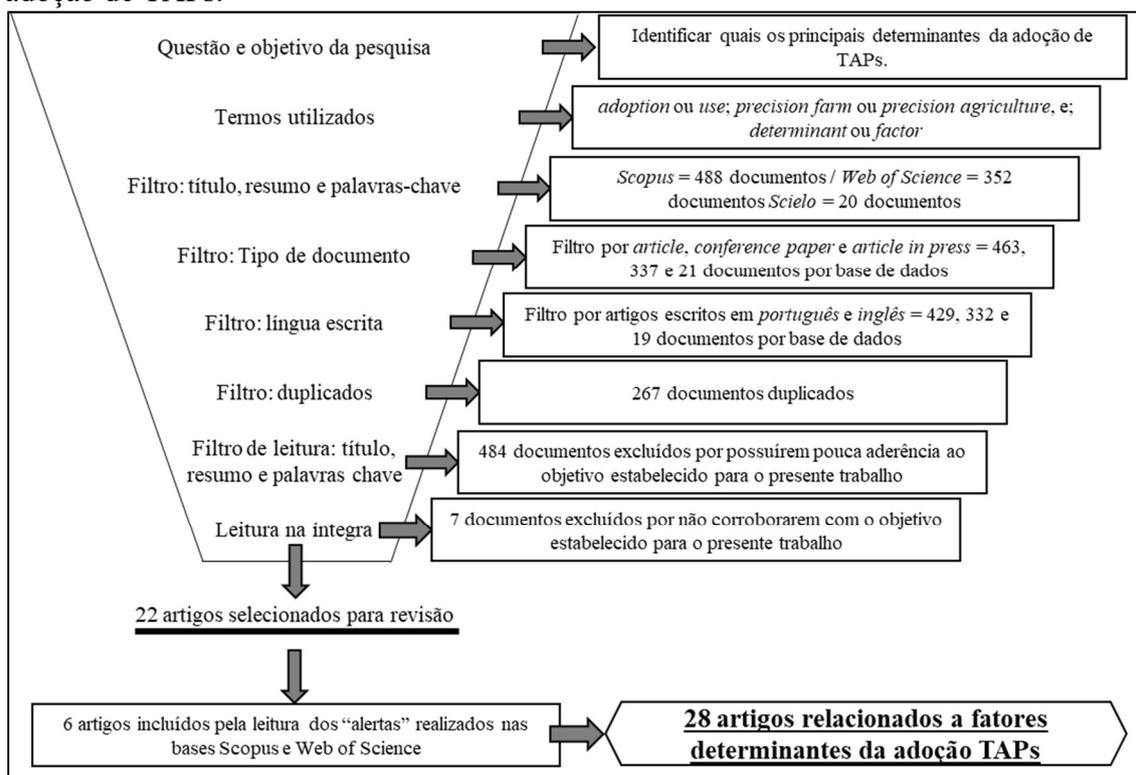
outro elemento. Por exemplo, se as atividades X, Y e Z são complementares à existência de W, então a presença conjunta de X, Y e Z sustenta a existência de W. O que não significa que W não possa existir sem a presença de X, Y ou Z, mas a probabilidade de W ocorrer será bem maior quando X, Y e Z existirem em conjunto (JAMES; KLEIN; SYKUTA, 2011). O ganho resultante da adoção conjunta supera o ganho obtido por meio da adoção individual das tecnologias.

Em resumo, os modelos aqui apresentados buscam compreender o processo de difusão das tecnologias. Esses modelos estabelecem, entre outras coisas que, o processo de difusão de uma nova tecnologia não é uniforme, ou seja, não ocorre com a mesma rapidez e intensidade entre os diferentes produtores e regiões. Vários trabalhos foram elaborados na intenção de identificar os fatores que impactam na decisão de uma firma adotar novas tecnologias (FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985; GALLIANO; ROUX, 2008; SOUZA FILHO et al., 2011; SUNDING; ZILBERMAN, 2001). Neste sentido, descreve-se na próxima seção os principais fatores determinantes da adoção de TAPs identificados na literatura

3.3 Fatores determinantes da adoção de TAPs

Esta seção apresenta uma revisão dos principais fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs descritos na literatura. Para isso, foi realizada uma busca em três bases de periódicos (Scopus, Web of Science e Scielo), combinando os termos *Adoption*, *Determinant* e *Precision Agriculture*. A busca retornou mais de 800 documentos que foram submetidos a filtros de exclusão pré-estabelecidos. Como resultado destes filtros, 28 artigos foram selecionados para análise (ver Figura 6).

Figura 6 – Etapas da revisão de literatura para identificar os fatores determinantes da adoção de TAPs.



Nas três bases foram utilizadas as mesmas combinações de termos: “*adoption* ou *use*; *precision farm* ou *precision agriculture*, e; *determinant* ou *factor*”. Os trabalhos foram filtrados primeiramente por título, resumo e palavras-chave resultando em 488 documentos pela base *Scopus*, 352 pela *Web of Science* e 21 pela *Scielo*. Sequencialmente, introduziu-se um filtro com intuito de obter apenas trabalhos revisados por pares. Nesta etapa os tipos *article*, *conference paper* e *article in press* foram selecionados, reduzindo a pesquisa para 463, 337 e 21 documentos por base de dados, respectivamente. A escolha por dois idiomas (inglês e português) foi outro crivo de seleção efetuado, restando 429 documentos da base *Scopus*, 332 da *Web of Science* e 19 da *Scielo*. Dos 780 documentos selecionados, 267 apareceram em duas ou até três bases, sendo classificados como duplicados e excluídos da revisão.

Conforto, Amaral e Silva (2011) sugerem que o primeiro filtro de leitura a ser realizado em uma revisão de literatura é a leitura do *title*, *abstract* e *keywords*. Assim, foram rejeitados nesta etapa 484 documentos, por entender que o assunto tratado em tais artigos possuía pouca aderência aos objetivos estabelecidos. Pode-se citar a não abordagem sobre fatores determinantes de adoção de tecnologia; a não abordagem sobre adoção de tecnologias por produtores rurais; a comparação de eficiência de máquinas e

equipamentos de AP com os de agricultura tradicional; a não abordagem sobre TAPs; e desenvolvimento de novas TAPs como sendo os principais motivos de exclusão destes artigos. Por fim, 29 documentos passaram para a fase de leitura completa. Nesta etapa, 7 artigos foram excluídos por não aderirem aos objetivos estabelecidos para a presente revisão. Vale salientar que a busca por estes artigos na base de dados se deu em fevereiro de 2018, entretanto foi cadastrado um “alerta” nas bases *Scopus* e *Web of Science*. Este alerta funciona como um aviso, que dispara para um e-mail, toda nova publicação que se encaixe com o termo de busca cadastrado. Todos os alertas recebidos em tal e-mail foram lidos, passando pelos mesmos crivos mencionados acima, o que permitiu incluir 6 artigos na revisão. Desta forma, foram encontrados 28 artigos relacionados a fatores determinantes da adoção de TAPs.

Os autores, o ano e outras informações sobre os artigos selecionados estão descritos no Quadro 2. Nota-se uma presença marcante de estudos realizados nos Estados Unidos, principalmente com a cultura do algodão. Dos 28 artigos encontrados, 13 foram realizados em solo americano, sendo 10 com algodão. Percebe-se que se trata de estudos de um mesmo grupo de pesquisadores dedicados ao entendimento da adoção de TAPs por produtores de algodão no sudeste dos EUA.

Quadro 2 – Descrição dos estudos analisados na revisão

Autores	Ano	País	Cultura estudada	Fonte de informação	Amostra	Método de análise	Número de variáveis
Daberkow & McBride	2003	EUA	Diversas	Produtores	786	Logit binário	9
Sevier & Lee	2004	EUA	Citros	Produtores	135	Probit binário	8
Torbett <i>et al</i>	2007	EUA	Algodão	Produtores	144	Logit ordenado	16
Walton <i>et al</i>	2008	EUA	Algodão	Produtores	827	Probit	12
Isgin <i>et al</i>	2008	EUA	Diversos	Produtores	491	ZIP e ZINB	16
Larson <i>et al</i>	2008	EUA	Algodão	Produtores	98	Logit binário	11
Walton <i>et al</i>	2010 (a)	EUA	Algodão	Produtores	765	Logit binário	26
Walton <i>et al</i>	2010 (b)	EUA	Algodão	Produtores	827	Probit binário	14
Silva, Moraes & Molin	2011	Brasil	Indústrias sucroalcooleiras	Produtores	87	Estatística descritiva	7
Paxton <i>et al</i>	2011	EUA	Algodão	Produtores	892	Poisson e distribuição binomial	10
Jenkins <i>et al</i>	2011	EUA	Algodão	Produtores	959	Probit multinomial	9
D'Antoni, Mishra & Joo	2012	EUA	Algodão	Produtores	469	Logit multinomial	11
Watcharaantaapong <i>et al</i>	2013	EUA	Algodão	Produtores	1088	Tobit	21

continua

Quadro 2 – Descrição dos estudos analisados na revisão (*continuação*)

Autores	Ano	País	Cultura estudada	Fonte de informação	Amostra	Método de análise	Número de variáveis
Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis	2016	Irã	Diversas	Produtores	133	Estatística descritiva e Engo Valor	11
Paustian & Theuvsen	2016	Alemanha	Diversas	Produtores	227	Logit binário	11
Tamirat, Pedersen & Lind	2018	Alemanha e Dinamarca	Diversas	Produtores	260	Logit binário	11
Barnes et al	2019 (a)	6 países Europeus	Diversas	Produtores	971	Logit multinomial e binomial	14
Barnes et al	2019 (b)	6 países Europeus	Diversas	Produtores	971	ZIP	30
Pathak, Brown & Best	2019		Revisão de literatura			Revisão de literatura	9
Khanal et al	2019	Sudeste dos EUA	Algodão	Produtores	545	Método Bayesiano	9
Kaarthikeyan & Suresh	2019	Índia	Irrigação de precisão	Produtores	103	Análise do componente principal	5
Pierpaoli <i>et al</i>	2013		Revisão de Literatura			Revisão de literatura	
Rezaei-Moghaddam & Salehi	2010	Irã	Diversas	Especialista	249	Modelagem de equações estruturais	7
Kutter <i>et al</i>	2011	5 países europeus	Diversas	Especialista	49	Análise qualitativa dos dados	5
Abdullah, Ahmad & Ismail	2012	Malásia	Arroz	Especialista	119	Método de regressão gradual	3
Aubert, Schroeder & Grimaudo	2012	Canadá	Diversas	Especialista	438	Análise de correlação	4
Far & Rezaei-Moghaddam	2017	Irã	Diversas	Especialista	183	Estatística descritiva	18
Far & Rezaei-Moghaddam	2018	Irã	Diversas	Especialista	115	Modelagem de Equações estruturais	6

O Quadro 2 permite identificar duas estratégias de investigação. Na primeira, os autores concentraram suas análises a partir de dados obtidos de produtores que já haviam realizado a adoção de TAPs e procuravam identificar os fatores que influenciaram à adoção, tais como: características socioeconômicas dos produtores e das propriedades; fontes de informação; tipo de assistência técnica recebida; entre outras características. Vale ressaltar que essa estratégia de investigação é a mesma adotada no presente trabalho.

Na segunda estratégia, os autores concentraram a análise a partir de dados obtidos com especialistas do setor (agrônomos, consultores técnicos, empresas de máquinas e equipamentos, pesquisadores, entre outros), procurando identificar características de

potenciais adotantes de TAPs e o que influenciaria a decisão de adotar a inovação. Nesta estratégia, os autores procuraram identificar fatores explicativos utilizando-se do modelo de aceitação tecnológica (TAM – *Technology Acceptance Model*).

As três subseções que se seguem buscam explorar e apresentar os principais determinantes de adoção e da intensidade de adoção de TAPs identificados na revisão de literatura. Inicia-se pela investigação dos estudos em que os autores concentraram suas análises a partir de dados obtidos de produtores. Segue-se com os estudos realizados a partir de dados obtidos com especialistas do setor. Na terceira subseção é apresentado um quadro resumindo todos os fatores identificados e as *proxies* utilizadas em tais estudos empíricos.

3.3.1 Análises a partir de informações de adotantes

Esta subseção pretende descrever os principais fatores determinantes encontrados no conjunto de artigos que analisaram a decisão de adoção de TAPs a partir de dados de produtores. Os determinantes identificados e descritos a seguir serão utilizados como base teórica na análise empírica do presente trabalho.

a) Fontes de informação agropecuária

Como apresentado na seção 3.2 deste Capítulo, a informação é um dos principais fatores determinantes da adoção de uma tecnologia, pois contribui para aumentar o conhecimento e reduz as incertezas acerca dos benefícios e impactos relacionados com a sua adoção (FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985). A dificuldade está em medir a quantidade de informação a que o produtor está exposto e o quanto tal informação reduz em sua incerteza. A informação desempenha importante papel no processo de distinção entre as oportunidades potencialmente valiosas de outras de valor inferior e na capacidade de explorá-las efetivamente. O que torna uma pessoa mais apta do que outra a reconhecer uma boa oportunidade é ter melhor acesso a determinados tipos de informações e ser capaz de utilizar essas informações efetivamente (BARON; SHANE, 2007).

As principais fontes de informação identificadas nos estudos sobre adoção de TAPs foram: serviços de extensão rural governamental; consultores técnicos particulares; serviços técnicos de fornecedores de máquinas e equipamentos agrícolas; outros produtores; *sites* especializados da internet; palestras técnicas; dias de campo; e feiras agropecuárias (BARNES et al., 2019a; LARSON et al., 2008; PIERPAOLI et al., 2013;

SEVIER; LEE, 2004; WALTON et al., 2008; WATHCARAANANTAPONG et al., 2014).

Walton et al. (2008) e Barnes et al. (2019a) estudaram a influência da orientação técnica particular na adoção de equipamentos de aplicação a taxa variada e verificaram um impacto positivo nesta relação. Além disso, Walton et al. (2010a) destacam a importância da extensão rural oferecida por órgãos governamentais como fonte de informação para o produtor no momento da decisão de adoção de TAPs. Para os autores, a extensão rural fornece conhecimento técnico sobre as tecnologias e aumenta a probabilidade de sua adoção. Para Allahyari et al. (2016), o contato com técnicos dos serviços de extensão rural tem se mostrado eficaz na adoção de TAPs, pois permite aos produtores obter informações sobre a tecnologia, podendo também ser um canal de acesso às demonstrações práticas (como no caso dos dias de campo).

Segundo Watcharaanantapong et al. (2013), a internet mostrou-se um importante veículo de transmissão de informação para adoção de TAPs. Os autores identificaram uma relação positiva entre a frequência de uso de internet e a adoção de três tecnologias de AP: amostragem do solo georreferenciada, mapas de produtividade e sensoriamento remoto. Khanal et al. (2019) identificaram que produtores que participaram de um maior número de eventos e cursos relacionados a agricultura, apresentaram maior probabilidade de adotar TAPs.

b) Capital Humano

Para Fernandez-Cornejo et al. (1994), o capital humano refere-se à capacidade do produtor de obter e processar informações, bem como a sua habilidade no uso de técnicas agrícolas e de métodos de gerenciamento. A contribuição do fator humano para os retornos da produção agrícola pode ser atribuída à capacidade do produtor perceber, interpretar e responder a novos eventos em um contexto de risco. Neste sentido, a maioria dos estudos de adoção tenta medir essas habilidades por meio do nível de escolaridade, idade e experiência do produtor (MIZUMOTO, 2009).

O nível de escolaridade é uma *proxy* para identificar a habilidade e a capacidade do produtor em adquirir e processar informações sobre as vantagens e desvantagens do uso da tecnologia e tomar decisões sobre a adoção de novas tecnologias (FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985; SUDING; ZILBERMAN, 2001). Produtores com níveis mais elevados de escolaridade teriam habilidades gerenciais e técnicas necessárias para utilizar a tecnologia, por isso, possuem maior probabilidade de adotá-la. Assim, escolaridade foi

um dos fatores mais encontrados nos estudos de adoção de TAPs. Observou-se que quanto maior o nível de escolaridade do produtor, maior a chance de adoção de TAPs (KHANAL et al., 2019; PAXTON et al., 2011; WALTON et al., 2008; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). Watcharaanantapong et al. (2013), por exemplo, concluíram que produtores com maior nível de escolaridade possuem maior capacidade e habilidade para interpretar informações e dados gerados pelas TAPs e, portanto, possuem maior probabilidade de adoção quando comparados com produtores com menor nível de escolaridade.

A idade tem sido utilizada como *proxy* para medir tanto as características comportamentais (aversão a risco), como a experiência dos produtores. No primeiro caso, a idade dos produtores pode impactar negativamente a adoção de tecnologias, pois produtores mais velhos são, geralmente, mais avessos ao risco e mais conservadores, não aceitando muito bem novas ideias, restringindo-se aos seus hábitos tradicionais (ANOSIKE; COUGHENOUR, 1990). Neste caso, a literatura empírica revelou que a idade tem relação inversa com adoção de TAPs. Isto é, quanto mais jovem for o produtor, maiores são as chances de ele adotar TAPs (SEVIER; LEE, 2004; TAMIRAT; PEDERSEN; LIND, 2018; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). De acordo com Walton et al. (2008), produtores mais jovens possuem horizonte de planejamento mais longo e, portanto, estão mais dispostos a considerarem novos investimentos e/ou mudarem suas práticas de gestão, bem como estão mais expostos e familiarizados às tecnologias da informação (TI), tornando-os mais propensos a adotar TAPs.

No segundo caso, a idade tem sido utilizada para medir a experiência do produtor. Alguns autores têm enfatizado o papel do “aprender fazendo” (*learnig by doing*) como um importante mecanismo de criação de capital humano (ARROW, 1962; BELL; PAVITT, 1993). Aqui, ganha destaque o conhecimento tácito do produtor e o “fazer” como um meio de aprendizagem por tentativa e erro. Neste sentido, a experiência tem sido medida tanto pela idade do produtor, como por meio do tempo de exercício da atividade agrícola como *proxies*. Produtores mais velhos e/ou com maior tempo na atividade agrícola teriam maior conhecimento acumulado para avaliar os benefícios de uma inovação e, portanto, teriam maior probabilidade de adotar. Estudos mostraram uma relação positiva da adoção de TAPs com as duas *proxies* utilizadas (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; D’ANTONI; MISHRA; JOO, 2012; PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016; PAXTON et al., 2011; SEVIER; LEE, 2004).

Bell e Pavitt (1993) destacam que é necessário cuidado ao interpretar essa relação. Para estes autores, “fazer” um tipo de atividade, em algumas situações, não serve como base de aprendizado. Em ambientes de rápida mudança técnica, a base de conhecimento acumulado no “aprender fazendo” passa a ter menor importância e cede espaço ao conhecimento formal. Vale destacar que, os dois tipos de aprendizado – seja o “fazer” ou o “formal” – não são excludentes entre si. Portanto, a experiência e o conhecimento formal podem ser construídos internamente nas firmas ou adquiridos externamente.

Para Cohen e Levinthal (1990), a capacidade de absorver uma nova informação depende do nível de conhecimento prévio na área relacionada com a nova tecnologia. Os autores consideram que o conhecimento é cumulativo e o efeito do aprendizado é maior quando o objeto do aprendizado é mais conhecido ou já foi testado. Se não houver uma experiência prévia, as organizações terão dificuldades para avaliar a nova informação e então absorvê-la (ZAHRA; GEORGE, 2002). Entretanto, não foram identificados estudos empíricos sobre adoção de TAPs que avaliaram o efeito da experiência prévia com tecnologias similares as TAPs.

c) Grau de organização dos produtores

O grau de organização e a participação do agricultor em organizações sociais do tipo cooperativa e associações de produtores têm impacto tanto na capacidade de produção, quanto no acesso à informação. No primeiro caso, a participação do produtor em organizações do tipo cooperativa e associações lhe confere eficiência no uso dos recursos, permitindo que eles superem barreiras relacionadas às escalas mínimas exigidas para viabilizar a adoção de determinadas inovações. Por outro lado, a organização social geralmente resulta em mais e melhor informação, uma vez que permite a troca de experiências por meio do contato pessoal com outros usuários ou com agentes que dominem o conhecimento referente à nova tecnologia (FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985; MONTE; TEIXEIRA, 2006; SOUZA FILHO et al, 2011).

O grau de organização dos produtores tem sido apontado como tendo impacto positivo na adoção de TAPs (BARNES et al., 2019a; JENKINS et al., 2011). Barnes et al. (2019a), por exemplo, verificaram que o produtor que é membro de cooperativa tem maior probabilidade de adotar TAPs. Os autores também identificaram que a participação dos produtores em cooperativas esteve mais relacionada à transferência de informações do que ao compartilhamento de ativos entre grupos de produtores.

d) Escala de produção

O tamanho da propriedade tem sido utilizado como uma das principais *proxies* para escala de produção (GEROSKI, 2000; SUNDING; ZILBERMAN, 2001). A suposição é a de que grandes produtores conseguem não apenas se beneficiar mais facilmente de economias de escala, mas também possuem maior capacidade para lidar com riscos e incertezas. Grandes produtores teriam também maior capacidade para testar novas práticas e tecnologias. Feder, Just e Zilberman (1985) afirmam que dada a incerteza e os custos fixos associados às inovações, pode haver um limite crítico no tamanho da propriedade, o que impede a adoção por propriedades menores. Produtores que gerenciam glebas de terra maiores se beneficiariam de economias de escala e, portanto, possuiriam maior probabilidade de se beneficiarem economicamente com a adoção de novas tecnologias.

Diversos estudos sobre adoção de TAPs utilizaram a variável tamanho da propriedade como *proxy* para escala de produção (BARNES et al, 2019ab; D'ANTONI; MISHRA; JOO, 2012; DABERKOW; McBRIDE, 2003; TAMIRAT; PEDERSEN; LIND, 2018; WALTON et al, 2010ab). Evidenciou-se que quanto maior a propriedade, maior a probabilidade de adoção de TAPs. Inferiu-se que a escala de produção, mensurada pelo tamanho da propriedade, está associada a maior flexibilidade para testar novas tecnologias, maior facilidade de acesso ao crédito rural e maior capacidade de absorver os riscos relacionados ao investimento de uma nova tecnologia.

e) Acesso a Recursos Financeiros

Qualquer investimento fixo requer o uso de capital próprio e/ou emprestado. Nesse sentido, acesso a crédito é uma das variáveis identificadas na literatura que podem ser utilizadas como *proxy* para recursos financeiros. Para Feder, Just e Zilberman (1985), a indisponibilidade de crédito pode se tornar uma barreira econômica para a adoção de tecnologias não divisíveis, que requerem um grande investimento inicial. Segundo Daberkow e McBride (2003), algumas TAPs se encaixam claramente no modelo de tecnologia intensiva em capital, especialmente se os custos de treinamento e educação forem considerados. Conseqüentemente, uma restrição de crédito pode retardar a adoção de TAPs pelos produtores.

Além do crédito rural, a literatura sobre adoção de TAPs tem utilizado a variável renda anual familiar como *proxy* para acesso a recursos financeiros. Essa variável tem apresentado impacto positivo sobre a adoção de TAPs (BARNES et al., 2019a;

TAMIRAT; PEDERSEN; LIND, 2018; WALTON et al., 2008; WALTON et al., 2010ab; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). Segundo Barnes et al. (2019a), produtores que possuem renda mais elevada têm maior capacidade de acomodar *paybacks* (retorno do investimento) mais longos e, portanto, estariam mais propensos a investir em TAPs. A origem da renda, entretanto, tem apresentado impactos diferentes no processo de adoção de TAPs. Tamirat, Pedersen e Lind (2018) mostraram que quanto maior a porcentagem da renda obtida por meio de atividades não agrícolas, maior a probabilidade de adoção de TAPs, pois à medida que a atividade agrícola deixa de ser a principal fonte de renda familiar, os produtores se sentem mais seguros para correr riscos ao investir em novas tecnologias. Por outro lado, segundo Watcharaanantapong et al. (2013), produtores cuja renda vem majoritariamente da agricultura têm maior probabilidade de investir em TAPs com intuito de evitar possíveis riscos à produção.

f) Atributos do solo

O desenvolvimento da produção agrícola e a adoção de novas tecnologias no campo também são afetadas pelas condições climáticas (precipitação e temperatura), agronômicas (tipos de solos) e físicas (topografia, acesso/disponibilidade de água), que variam de uma microrregião para outra e, em alguns casos, até mesmo entre propriedades dentro de uma mesma microrregião (ROSSI, 2017). Aspectos relacionados ao solo, como relevo e atributos físico-químicos, têm se mostrado como características diferenciadoras na adoção de tecnologias. Estudos mostraram que propriedades que apresentam grande variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo são mais aptas à adoção de TAPs (PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016; PAXTON et al., 2011). Torbett et al. (2007), por exemplo, verificaram uma relação inversa entre declividade do terreno e adoção de TAPs. Os autores acreditam que em áreas com relevo ondulado e/ou íngreme, a resposta das culturas em termos produtivos pode não ser suficiente para viabilizar o investimento.

g) Condição Fundiária

Estudos examinaram a relação da posse da terra com a adoção de tecnologias (GOLLA, 2010; KASSIE et al., 2013; VAEZI; DARAN, 2012). Estes estudos procuraram identificar se o produtor é proprietário da terra, um parceiro, ou um arrendatário. Em geral, testa-se a hipótese de que produtores arrendatários ou parceiros têm horizonte de planejamento mais curto do que proprietários de terra. A expectativa de não recuperar economicamente o investimento realizado levaria os arrendatários e parceiros a não

adotarem novas práticas ou tecnologias de produção. Feder, Just e Zilberman (1985) argumentam que deve ser estabelecida uma distinção entre arrendatários puros (que não possuem terras) e arrendatários-proprietários (que possuem pelo menos parte de suas terras), podendo-se esperar que os últimos sejam mais receptivos às inovações. Uma razão que pode ser dada para esse comportamento é que arrendatários-proprietários são menos afetados pelas restrições de acesso ao crédito do que os arrendatários puros. De fato, os estudos sobre adoção de TAPs que investigaram essa questão identificaram que arrendatários e parceiros têm menor probabilidade de adoção, quando comparados com proprietários puros de terra (DABERKOW; McBRIDE, 2003; TORBETT et al., 2007; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013).

h) Gestão da propriedade

O tempo de dedicação na gestão de determinada atividade agrícola e a dependência do produtor em relação à renda gerada por essa atividade têm sido investigados em estudos sobre adoção de TAPs (PAXTON et al., 2011; WALTON et al., 2008; WALTON et al., 2010a; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). A hipótese sustentada pelos autores é a de que produtores que se dedicam a duas atividades agropecuárias diferentes, concomitantemente, têm menor probabilidade de adotar TAPs em suas lavouras do que os produtores que se dedicam exclusivamente a uma única atividade. Segundo Watcharaanantapong et al. (2013), o tempo gasto com a atividade secundária concorre com o tempo usado para tomar decisões no manejo da atividade primária (algodão) e diminui a probabilidade de o produtor adotar TAPs na produção deste último. Portanto, quanto menor a diversificação de atividades na propriedade, maiores serão as chances de o produtor de adotar TAPs, pois maior será sua dedicação para tomada de decisão relacionada a atividade principal.

Estudos têm mostrado que os ganhos econômicos advindos da adoção de tecnologias na agricultura são superiores quando a mesma é combinada com determinadas práticas de gestão da propriedade (JAMES; KLEIN; SYKUTA, 2011; ROSSI; SOUZA FILHO; CARRER, 2016; WILSON, 2001). Softwares e aplicativos de celular foram considerados em alguns estudos de adoção de TAPs como uma ferramenta de gestão que permite um melhor controle da produção (KHANAL et al, 2019; WALTON et al., 2010ab; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). Inferiu-se que o produtor que utiliza softwares e/ou aplicativos de celular para auxiliar na gestão da propriedade possui maior probabilidade de adotar TAPs quando comparado com os que não utilizam tais

equipamentos de gestão. Em grande medida, o uso de computadores e de aplicativos aumentam a eficiência dos produtores em coletar, armazenar, transmitir e interpretar a grande quantidade de dados gerados pelas TAPs. No entanto, alguns autores criticam a utilização da *proxy* “software para gestão” como um fator determinante para adoção de TAPs (LARSON et al., 2008; ROBERTS et al., 2004; TEY; BRINDAL, 2012). Segundo estes autores, para a adoção de TAPs é necessário que o produtor tenha algum conhecimento e/ou utilize softwares que o auxiliem na gestão das informações. Ou seja, dificilmente o produtor conseguiria adotar alguma TAP sem ter o prévio conhecimento e habilidade no uso destes softwares.

i) Comportamento diante de uma nova tecnologia

A adoção de uma inovação é em grande medida influenciada pelas incertezas que à cercam. A tomada de decisão para adoção de uma nova prática ou tecnologia é cercada de riscos, mesmo quando os resultados são conhecidos. Nesta condição, a avaliação subjetiva do produtor tende a impactar diretamente a adoção ou não de uma inovação. Essa avaliação tem sido empiricamente obtida por meio de variáveis que procuram medir a percepção do produtor quanto a aspectos da inovação, tais como lucratividade, produtividade e sustentabilidade ambiental.

Estudos empíricos identificaram que quatro variáveis relacionadas com a percepção dos produtores quanto à adoção de TAPs têm impacto positivo na sua adoção (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; BARNES et al, 2019a; KHANAL et al, 2019; PIERPAOLI et al., 2013; WALTON et al., 2010b; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013): a percepção do produtor de que a adoção de TAPs aumenta a produtividade; a percepção do produtor de que a adoção de TAPs reduz danos ao ambiente; a percepção do produtor de que a adoção de TAPs aumenta a qualificação da mão de obra na propriedade; e a percepção do produtor de que a adoção de TAPs aumenta a qualidade do produto. Já a percepção do produtor de que a adoção de TAPs aumenta os custos de produção apresentou relação negativa com a adoção, ou seja, quanto maior for a percepção do produtor de que o uso de TAPs aumenta os custos de produção, menor a probabilidade de adoção (KHANAL et al, 2019).

Watcharaanantapong et al. (2013), por exemplo, identificaram que a percepção de melhoria na qualidade ambiental foi um motivo consistente para a adoção de TAPs. Inferiu-se que os produtores preocupados com os efeitos ambientais de suas operações agrícolas adotaram equipamentos de aplicação a taxa variada com a intenção de aplicar

quantidades ótimas de insumo para reduzir possíveis danos ao meio ambiente. Paxton et al. (2011), por sua vez, investigaram a percepção do produtor de que a adoção de TAPs aumenta a produtividade. A expectativa futura de aumento na produtividade apresentou correlação positiva com o número de TAPs adotadas por produtores de algodão. Os autores concluíram que os agricultores que acreditavam que as TAPs levariam a um aumento na produtividade, adotavam, em média, um número maior de TAPs do que os agricultores que não tinham essa percepção de melhora na produtividade.

3.3.2 Análises a partir da visão de especialistas

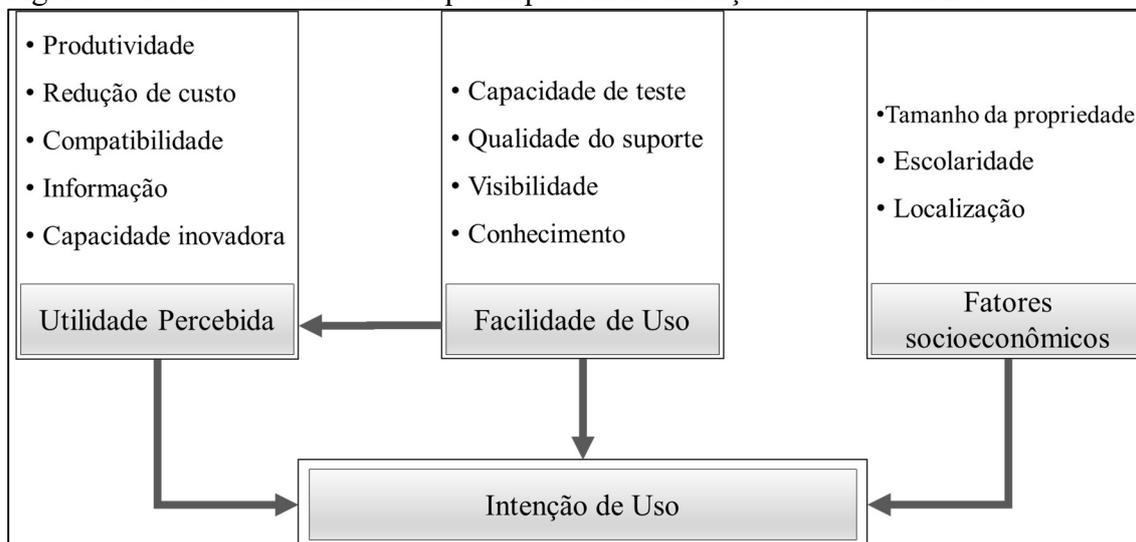
Esta subseção descreve as características dos potenciais adotantes de TAPs identificadas a partir do conjunto de artigos (ver Quadro 2) que utilizaram informações obtidas de especialistas do setor (agrônomos, consultores, empresas de máquinas e equipamentos, pesquisadores, entre outros)⁶. Nestes artigos, os fatores determinantes da adoção de TAPs foram identificados utilizando-se o Modelo de Aceitação Tecnológica (TAM – *Technology Acceptance Model*) como aporte teórico. Esse modelo foi desenvolvido inicialmente por Davis (1986) e aperfeiçoado em dois artigos posteriores, Davis (1989) e Venkatesh e Davis (1996). A ideia do modelo é explicar a intenção de uso de uma nova tecnologia ser adotada por usuários individuais ou uma organização. Parte-se da premissa de que a utilidade percebida e facilidade de uso percebida são dois determinantes que podem influenciar na intenção de uso e, sequencialmente, na decisão de adoção de uma nova tecnologia.

Davis (1989, p.320) especifica que a “utilidade percebida” é determinante para a adoção. A utilidade percebida é definida como “*o grau com o qual uma pessoa acredita que o uso de uma inovação melhorará o desempenho do seu trabalho*”. Outro determinante é a “facilidade de uso percebida”, que se refere ao “*grau de dificuldade ou de esforço para utilização ou compreensão de uso de uma nova tecnologia*” (DAVIS, 1989 p.320). Ambos os determinantes são usados para explicar a intenção de uso de uma tecnologia. Além disso, a utilidade percebida também é influenciada pela facilidade de uso percebida. Variáveis são utilizadas para identificar os dois determinantes. Tais variáveis referem-se às características da tecnologia em si, bem como ao ambiente no qual a tecnologia está inserida. Em alguns casos, outros determinantes não ligados ao

⁶ Destaca-se que as variáveis aqui identificadas, bem como o modelo TAM, não serão utilizadas na análise empírica do presente trabalho.

modelo TAM são inseridos para aumentar o poder de explicação do modelo (PENTINA; KOH; LE, 2012). A Figura 7 sintetiza os dois fatores determinantes identificados nos artigos revisados que impactam na intenção de uso de TAPs.

Figura 7 – Fatores determinantes que impactam na intenção de uso de TAPs.



Os estudos que utilizaram o Modelo de Aceitação Tecnológica para avaliar a adoção de TAPs realizaram coleta de informações com especialistas do setor, notadamente, procurando obter avaliações desses especialistas sobre a intenção de produtores em adotar TAPs (ABDULLAJ; AHMAD; ISMAIL, 2012; AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDO, 2012; FAR; REZAI-MOGHADDAM, 2017, 2018; KUTTER et al., 2011; PIERPAOLI et al., 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Estes estudos utilizaram as seguintes variáveis para medir a utilidade percebida: percepção quanto ao aumento de produtividade e redução de custos de produção; compatibilidade; acesso à informação; e capacidade inovadora.

Far e Rezaei-Moghaddam (2017) mediram a utilidade percebida usando as variáveis percepção de aumento de produtividade e redução de custos de produção. Para os autores, um produtor terá a intenção de usar TAPs quando perceber que a inovação poderá aumentar a produtividade e/ou reduzir custos de produção. Em um artigo de 2018, os mesmos autores utilizaram a variável “compatibilidade” para medir a utilidade percebida da tecnologia (FAR; REZAEI-MOGHADDAM, 2018). Para os autores quanto maior a compatibilidade das TAPs com os equipamentos, as rotinas e as operações existentes na propriedade, maior será a probabilidade de percebê-las como úteis. Quanto mais compatível for uma tecnologia com outros recursos já existentes na propriedade,

maior será a intenção do produtor adotá-la. Assim, a adoção de uma nova tecnologia será realizada se o produtor possuir ou conhecer algo relacionado a ela.

Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012) afirmaram que a disponibilidade, a qualidade e o valor da informação impactam positivamente a utilidade percebida. O trabalho de Kutter *et al.* (2011) corroborou a importância da informação e sua relevância para investimentos em TAPs. Para eles, as fontes de informação (literatura profissional, dias de campo, feiras, workshops, internet, etc.); as instituições de apoio (empresas de tecnologia agrícola, consultoria privada, serviços de extensão, institutos de pesquisa, centros educacionais, cooperativas/associações); e a localização da propriedade impactam diretamente na intenção do produtor em adotar TAPs. Por fim, Far e Rezaei-Moghaddam (2017) argumentaram que a capacidade inovadora também impacta a utilidade percebida, ou seja, quanto maior a disposição de um produtor em experimentar uma nova tecnologia maior será a sua intenção de adotá-la.

O segundo determinante no modelo TAM, facilidade de uso percebida, refere-se ao grau de dificuldade ou de esforço para utilização ou compreensão de uso de uma nova tecnologia. Pelo próprio modelo, a facilidade de uso percebida pelos usuários de uma nova tecnologia influencia a utilidade percebida por eles (DAVIS, 1989; VENKATESH; DAVIS, 1996). Assim, a percepção do produtor em relação à facilidade de utilizar TAPs influencia diretamente a intenção de adotar a nova tecnologia, como também na utilidade percebida (ver Figura 7). Na revisão dos estudos sobre adoção de TAPs, a facilidade de uso percebida foi determinada pelas variáveis: capacidade de teste; qualidade do suporte técnico; visibilidade; e conhecimento sobre a tecnologia.

A capacidade de testar uma tecnologia foi um dos determinantes identificados na revisão como impactante na facilidade de uso percebida (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDO, 2012; PIERPAOLI *et al.*, 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Para Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012), a capacidade de teste, refere-se à habilidade do usuário em usar a inovação antes de sua adoção, isto é, a probabilidade de o produtor testar as TAPs em uma pequena parcela de sua propriedade. Os estudos sugerem que a facilidade pela qual uma TAP pode ser testada influenciará na intenção de uso.

A visibilidade é outra variável que impacta positivamente na facilidade de uso percebida (KUTTER *et al.*, 2011; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Quanto mais “visível” for a inovação, mais facilmente um potencial adotante se sentirá estimulado a adotar (REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Kutter *et al.* (2011)

afirmam que a acessibilidade, rapidez e habilidade do suporte para novas tecnologias também impactam a facilidade de uso percebida. A percepção do produtor quanto à facilidade de uso de TAPs é influenciada pela qualidade do suporte oferecido, que pode ser oriundo de diversas fontes (associações/cooperativas, revendas de máquinas e equipamentos, consultores privados, extensão governamental, entre outras).

Alinhado à qualidade do suporte encontra-se o conhecimento, que é definido como o grau de entendimento do adotante (produtor, gestor da propriedade ou até mesmo funcionários) a respeito de TAPs. Portanto, quanto mais conhecimento um adotante possuir sobre TAPs, mais provavelmente ele irá percebê-la como de fácil uso e, conseqüentemente, maior será sua intenção de uso (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDO, 2012; PIERPAOLI et al., 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010).

Além da facilidade de uso e da utilidade percebida, foram também identificados outros determinantes de caráter socioeconômico: o tamanho da propriedade, a escolaridade do produtor e a localização da propriedade. Esses determinantes, embora não estejam diretamente incluídos no modelo TAM, também impactam a intenção de um produtor em usar ou não TAPs (ABDULLAJ; AHMAD; ISMAIL, 2012; PIERPAOLI et al., 2013).

3.3.3 Síntese dos fatores determinantes identificados na literatura

Esta seção tem como finalidade apresentar uma síntese dos fatores determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs identificados na revisão da literatura apresentada nas seções anteriores. Vale salientar que a análise dos trabalhos empíricos, que tiveram como abordagem principal os especialistas (abordada na seção 3.3.2), conduziu à identificação de *proxies* semelhantes, ou muito próximas, àquelas abordadas na análise dos trabalhos realizados a partir de informações com produtores (abordadas na seção 3.3.1). Neste sentido, o Quadro 3 apresenta a síntese dos fatores determinantes, as *proxies* utilizadas, os autores, assim como o efeito identificado sobre a adoção de TAPs.

Quadro 3 – Fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs identificados na revisão de literatura

Fatores determinantes/ <i>Proxy</i>	Efeito Identificado ³	Autor(es)
Fontes de informação agropecuária		
Acesso ao serviço técnico da extensão rural governamental	(+)	D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Larson et al. (2008); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al (2013)
Acesso ao consultor técnico particular	(+)	Barnes et al., (2019a); Larson et al. (2008); Walton et al., (2008); Paustian & Theuvsen (2016); Watcharaanantapong et al (2013)
Acesso ao serviço técnico de revendedores de máquinas e equipamentos agrícolas	(+)	Barnes et al., (2019a); Khanal et al., (2019); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Watcharaanantapong et al (2013)
Contato com outros produtores	(+)	Barnes et al., (2019a); Khanal et al., (2019); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Watcharaanantapong et al (2013)
Acesso à internet (sites especializados)	(+)	Sevier & Lee (2004); Watcharaanantapong et al (2013)
Participação em palestras técnicas	(+)	
Participação em dias de campo	(+)	Khanal et al., (2019); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Watcharaanantapong et al (2013)
Participação em feiras agropecuárias	(+)	
Capital Humano		
Nível de escolaridade	(+)	Barnes et al., (2019a); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Daberkow & McBride (2003); Jenkins et al. (2011); Khanal et al., (2019); Kutter et al. (2011); Larson et al. (2008); Paustian & Theuvsen (2016); Paxton et al. (2011); Sevier & Lee (2004); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)
Idade do produtor	(-)	Daberkow & McBride (2003); Jenkins et al. (2011); Larson et al. (2008); Paxton et al. (2011); Sevier & Lee (2004); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)
Experiência		
Idade do produtor	(+)	Barnes et al., (2019a); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Khanal et al., (2019); Paustian & Theuvsen (2016); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Torbett et al. (2007)
Anos de experiência na atividade agrícola	(+)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Paustian & Theuvsen (2016); Paxton et al. (2011); Sevier & Lee (2004)
Experiência prévia em atividades relacionadas	(+)	
Grau de organização dos produtores		
Membro de associação ou cooperativa ²	(+)	Barnes et al., (2019a); Cirani & Dias de Moraes (2010); Jenkins et al. (2011)
Escala de produção		
Tamanho da propriedade	(+)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); Barnes et al., (2019a); Cirani & Dias de Moraes (2010); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Daberkow & McBride (2003); Jenkins et al. (2011); Khanal et al., (2019); Larson et al. (2008); Paustian & Theuvsen (2016); Sevier & Lee (2004); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Torbett et al. (2007); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)

Quadro 3 – Fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs identificados na revisão de literatura (*continuação*)

<u>Acesso a Recurso Financeiro</u>		
Acesso a crédito	(+)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); Daberkow & McBride (2003)
Renda		
Renda anual familiar ¹	(+)	Barnes et al., (2019a); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Daberkow & McBride (2003); Jenkins et al. (2011); Khanal et al., (2019); Larson et al. (2008); Paxton et al. (2011); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)
Percentual da renda vinda de atividades agrícolas	(+/-)	Khanal et al., (2019); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Watcharaanantapong et al. (2013)
<u>Característica topográfica da propriedade</u>		
Declividade do terreno	(-)	Paustian & Theuvsen (2016); Paxton et al. (2011); Torbett et al. (2007)
<u>Condição fundiária</u>		
Proprietário	(+)	Daberkow & McBride (2003); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a)
Arrendatário/parceiro	(-)	Jenkins et al. (2011); Paxton et al. (2011); Torbett et al. (2007); Watcharaanantapong et al. (2013)
<u>Gestão da propriedade</u>		
Porcentagem da área com a atividade principal em relação a área total	(+)	Barnes et al., (2019a); Paustian & Theuvsen (2016); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)
Uso de softwares e aplicativos para gestão	(+)	D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Daberkow & McBride (2003); Khanal et al., (2019); Larson et al. (2008); Paxton et al. (2011); Torbett et al. (2007); Walton et al., (2008); Walton et al., (2010a); Watcharaanantapong et al. (2013)
<u>Comportamento diante de uma nova tecnologia: percepção de que com a adoção de TAPs...</u>		
aumentará a produtividade	(+)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); Barnes et al., (2019a); D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Khanal et al., (2019); Paxton et al. (2011); Torbett et al. (2007); Walton et al., (2008); Watcharaanantapong et al. (2013)
reduzirá os danos ao ambiente ¹	(+)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); Watcharaanantapong et al. (2013)
elevará a qualificação da mão de obra na propriedade	(+)	D'Antoni, Mishra & Joo (2012); Tamirat, Pedersen & Lind (2018); Torbett et al. (2007); Watcharaanantapong et al. (2013)
aumentará a qualidade do produto ¹	(+)	Watcharaanantapong et al. (2013)
aumentará o custo de produção	(-)	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis (2016); Khanal et al., (2019); Paxton et al. (2011); Watcharaanantapong et al. (2013)

¹Variáveis que não foram captadas no questionário. ² Este fator não será testado, pois a coleta de dados contou com o apoio de uma cooperativa de produtores. ³Sinal esperado, tanto para adoção quanto para intensidade de adoção.

4 MÉTODO

Para realização do presente trabalho três etapas foram importantes: a revisão de literatura, a coleta de dados e a análise dos dados. Nesse sentido, o primeiro passo foi revisar na literatura artigos científicos que abordassem os fatores determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs, utilizando para isso as teorias de adoção e difusão de tecnologias. Em um primeiro momento, a compreensão geral destas teorias foi necessária. Para isso, foram lidos os trabalhos seminais e os autores considerados relevantes de cada teoria. Tal fato permitiu a construção de *strings* de buscas, que foram utilizadas nas principais bases de dados (*Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*).

Foram realizadas entrevistas informais com alguns agentes da cadeia de produção da cana-de-açúcar com objetivo compreender o estado da arte em relação a AP na produção de cana e obter um perfil prévio do adotante de TAPs. Foram realizadas cinco entrevistas: duas com gerentes de indústrias processadoras e três com gerentes de cooperativas de produtores rurais.

Ao final da revisão e com o auxílio das informações obtidas nas entrevistas com agentes-chave, foi possível construir um questionário estruturado para ser aplicado junto a uma amostra de produtores. Procurou-se obter informações relacionadas às tecnologias adotadas, às características socioeconômicas dos produtores, das propriedades, da produção, das fontes de informação utilizadas, além de percepções dos produtores em relação à adoção de TAPs. O questionário foi testado com 15 produtores e várias questões emergiram, como o tempo excessivo – que estava entre 60 e 75 minutos – de preenchimento, decorrente do grande número de questões. Também houve a necessidade de ajuste na forma de formular as questões, incluindo a revisão da redação, que por sua vez possibilitou melhor interpretação e conseqüente melhora na acurácia das respostas dos entrevistados. Outra correção feita foi o rearranjo das questões, sendo possível, em alguns casos, sintetizar duas ou mais questões em uma única pergunta.

O instrumento modificado e validado foi utilizado para realizar entrevistas presenciais com produtores de cana-de-açúcar (ver APÊNDICE A). A seleção da amostra foi possível mediante parceria estabelecida com a Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), que conta com mais de 14 mil associados.

Na próxima seção apresenta-se a descrição da amostra de produtores de cana-de-açúcar entrevistados, as principais TAPs adotadas, bem como a descrição das variáveis que foram utilizadas na análise. Na segunda seção deste capítulo é apresentado o modelo

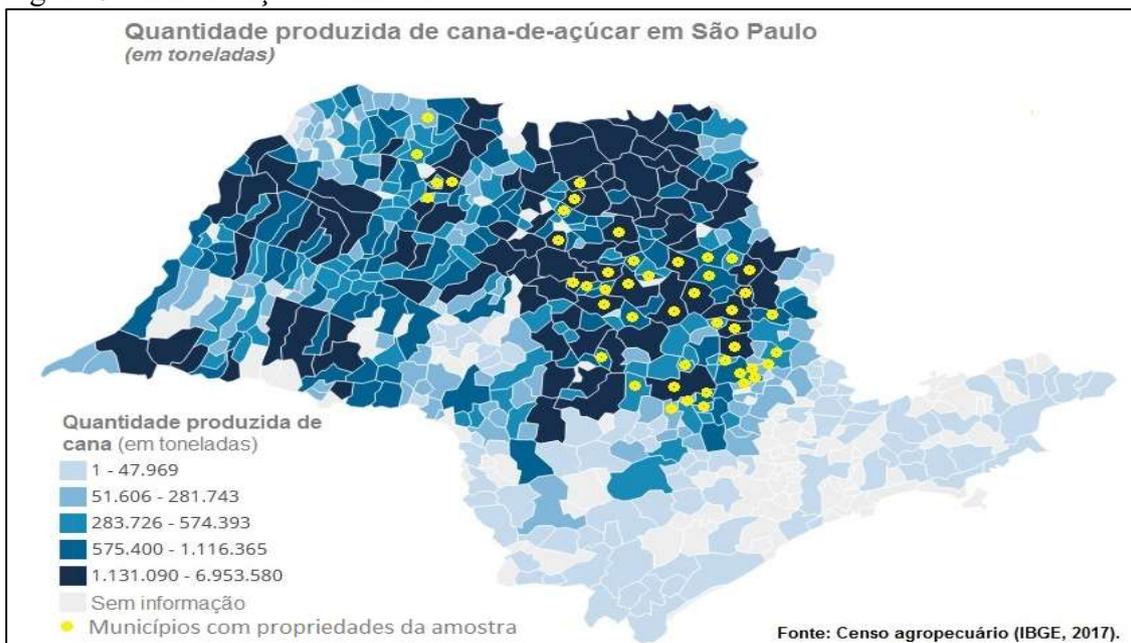
de regressão de dados de contagem, que será utilizado para identificação dos fatores determinantes da adoção e da intensidade da adoção de TAPs.

4.1 Descrição da amostra, principais TAPs adotadas e descrição das variáveis de análise

A cana-de-açúcar no estado de São Paulo é produzida tanto pela indústria de processamento, como por produtores rurais fornecedores. Na safra 2018/2019, 12.004 produtores rurais fornecedores contribuíram com 146,8 milhões de toneladas (44,1% da produção total), enquanto 88 grupos industriais produziram 186,08 milhões de toneladas (55,9%) (ORPLANA, 2019). O processo de tomada de decisão e execução das atividades agrícolas de um grupo industrial é diferente do de um produtor rural fornecedor de cana e não seria possível tratá-los em um mesmo grupo amostral. Neste sentido, este trabalho concentrou a coleta de dados em produtores rurais fornecedores de cana para a indústria.

O questionário estruturado foi aplicado por pesquisadores capacitados por meio de entrevistas presenciais junto a uma amostra de 131 produtores rurais fornecedores, distribuídos em 47 municípios, nas regiões geográficas intermediárias de Araraquara, Bauru, Campinas, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto (Figura 8). Os municípios onde estão localizadas as propriedades rurais da amostra responderam por 14,1% da área colhida e 14,5% da cana-de-açúcar produzida no estado de São Paulo em 2017 (IBGE, 2017). Dada a inexistência de um cadastro de adotantes, a seleção dos produtores foi realizada com o auxílio da cooperativa Coplacana. Técnicos da cooperativa e consultores técnicos particulares, em menor proporção, auxiliaram na identificação e contato com os produtores rurais na região do estudo.

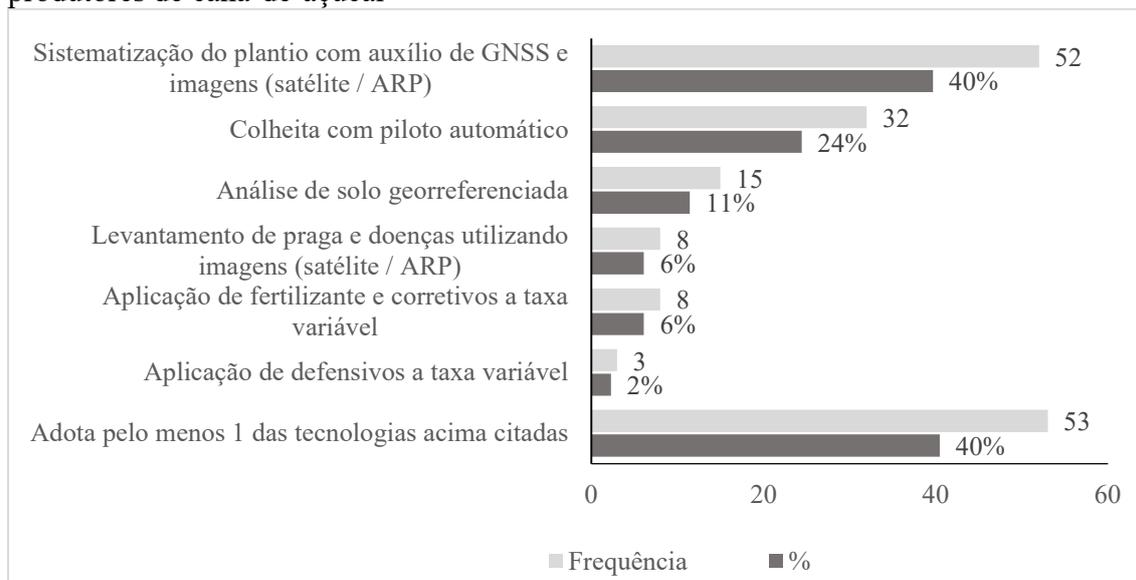
Figura 8 – Distribuição da amostra



Solicitou-se aos técnicos da cooperativa e consultores técnicos particulares que, a partir de suas percepções sobre agricultura de precisão, indicassem produtores adotantes e não adotantes. Para cada adotante, procurou-se identificar produtores não adotantes da mesma região, de forma a constituir uma contra amostra que permitisse identificar fatores diferenciadores. Essa técnica de amostragem reduz os custos de transporte, bem como reduz o escopo para discriminar os adotantes dos não adotantes em termos de características regionais, notadamente as características edafoclimáticas. Vale destacar que os dados obtidos se referem ao ano safra 2018/2019.

Após a aplicação do questionário e respondendo ao segundo objetivo específico proposto na tese, foi possível identificar seis TAPs adotadas pelos produtores, sendo elas: sistematização de plantio com auxílio de GNSS e imagens (satélite / ARP); colheita com piloto automático; análise de solo georreferenciada; levantamento de pragas e doenças utilizando imagens (satélite/ARP); aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada; e aplicação de defensivos a taxa variada. A Figura 9 apresenta o número e percentual de adotantes de cada uma dessas práticas.

Figura 9 – Frequência e porcentagem da adoção de TAPs em uma amostra de 131 produtores de cana-de-açúcar



A sistematização do plantio com auxílio de GNSS e imagens foi adotada por 40% dos produtores da amostra, apresentando a maior frequência de adoção dentre as TAPs identificadas. O planejamento da área e a sistematização do terreno são indicados para a implantação do canavial. Tal planejamento e sistematização devem atentar para o tipo de solo, época de plantio, relevo, clima, rotação de culturas e disposição de carregadores primários e secundários, procurando conservar o solo e obter melhor aproveitamento. Busca-se maximizar as linhas de plantio e minimizar o número de manobras de máquinas agrícolas, reduzindo o tempo e o custo das operações mecanizadas (De MARIA et al. 2016; NARDO et al., 2020), além de evitar perda de produtividade. A prática envolve levantamento planialtimétrico preciso e, para isso, algumas tecnologias têm se mostrado bastante relevantes, como por exemplo os sistemas de posicionamento global (GPS), o piloto automático no plantio, os softwares de geoprocessamento, e as imagens por ARP e de satélite.

A navegação por satélite e piloto automático na colheita foi adotada por 24% dos produtores. Um dos benefícios do uso da AP na sistematização é a geração de arquivo com georreferenciamento da linha de plantio, que pode ser compartilhado e utilizado posteriormente na operação de colheita. A adoção de sistemas de navegação e piloto automático na colhedora contribuem para a preservação das linhas de plantio e menor compactação do solo, resultando em maior produtividade e qualidade do canavial (De MARIA et al. 2016; SOUZA et al. 2014).

A análise de solo georreferenciada (11%) e o levantamento de pragas e doenças utilizando imagens (satélite / ARP) (6%) foram adotados por poucos produtores. Essas duas TAPs estão relacionadas a procedimentos de amostragem em que o ponto amostral tem seu posicionamento conhecido, isto é, o ponto amostral é georreferenciado. A partir das imagens (satélite / ARP) juntamente com auxílio da geoestatística é possível demonstrar a condição da lavoura em relação a determinada variável, bem como estimar a variação dentro do talhão, ou seja, determina-se a distribuição espacial, identificando-se possíveis variações (COLAÇO; MOLIN, 2015).

A aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada foi adotada por apenas 8 produtores (6% da amostra); desses, 3 também realizam aplicação a taxa variada de defensivos. O tratamento localizado da lavoura pode ser considerado como a essência da AP, em que a demanda de cada pequena porção da lavoura será tratada de forma variada, proporcionando benefícios, tais como uso eficiente de insumos, aumento de produtividade e redução do impacto ambiental (AUERNHAMMER, 2001; COLAÇO; BRAMLEY, 2018).

Observa-se que o número de produtores que adotaram a prática de aplicação de insumos a taxa variada foi menor que o número de produtores que adotaram a análise de solo georreferenciada. Alguns comentários dos produtores contribuem para possíveis explicações. Um dos produtores destacou: *“contratei uma empresa terceirizada para realizar a análise de solo georreferenciada, mas não consegui executar o que a consultoria recomendou. Por exemplo, eu gastava R\$1000/ha de fertilizante e a recomendação foi para R\$2500/ha. Acredito que o ganho que eu teria de produtividade não pagaria esse aumento de custo de produção. Por isso, não fiz a aplicação a taxa variada.”* Outro produtor fez a seguinte observação: *“realizei a amostragem georreferenciada e obtive as recomendações para uso de fertilizantes a taxa variada. Entretanto, quando fui realizar a adubação não tinha equipamentos de aplicação a taxa variada disponíveis para alugar na região. Decidi fazer do modo convencional mesmo.”*

Produtores que adotaram, no mínimo, uma dessas seis TAPs foram classificados como adotantes, os quais corresponderam a 40% da amostra (53 adotantes). Assim dois grupos de produtores foram definidos: adotantes, com dados de 53 produtores e, não adotantes de TAPs, com dados de 78 produtores.

Os dados obtidos desses dois grupos foram inicialmente analisados por meio de estatística descritiva (médias, frequências e desvios padrão) e testes de hipótese. Médias e frequências de variáveis foram estimadas para os dois grupos, tal que fosse possível

identificar diferenças estatisticamente significativas entre eles. Esta forma de análise permitiu a identificação prévia de potenciais fatores determinantes da adoção de TAPs. O teste *t-student*, para comparação entre médias e Qui-quadrado (X^2), para comparação entre proporções, foram utilizados para testar hipóteses:

H_0 – (Hipótese nula) supõe que as médias ou proporções das respostas do grupo de produtores adotantes de TAPs são iguais às do grupo não adotantes.

H_1 – (Hipótese alternativa) supõe que as médias ou proporções das respostas do grupo de produtores adotantes de TAPs são diferentes às do grupo não adotantes.

Para a presente tese, foi considerado nível de significância estatística igual ou inferior a 10% para rejeitar a hipótese nula, portanto, aceitar a hipótese alternativa.

Os dois grupos amostrais, adotantes e não adotantes de TAPs, foram comparados quanto às fontes de informação agropecuária utilizadas; ao nível de escolaridade dos produtores; à aversão ao risco; à experiência; ao tamanho da propriedade; à disponibilidade de recursos financeiros; às características da topografia; à gestão da propriedade; e ao comportamento diante de uma nova tecnologia. Neste sentido, o Quadro 4 apresenta a descrição das variáveis que serão analisadas por meio de estatísticas descritivas com intuito de identificar diferenças estatisticamente significativas entre eles. Tais variáveis foram elaboradas com base na revisão de literatura e no questionário construído.

Quadro 4 – Descrição das variáveis

Variáveis	Descrição das variáveis
Fontes de informação agropecuária	
INF_NÚMERO-MÉDIO	Variável discreta. Soma dos valores obtidos das variáveis serviço técnico da extensão rural governamental; serviço técnico da associação/cooperativa; consultor técnico particular; serviço técnico de fornecedor de máquinas e equipamentos; serviço técnico de fornecedor de adubos e defensivos; serviço técnico por parte do comprador de cana; outros produtores; e, acesso à internet. Portanto, a variável pode receber os valores de 0 (não acessa nenhuma fonte de informação) a 8 (o produtor acessa as 8 fontes de informação).
INF_EXTENSÃO-RURAL	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao serviço técnico da extensão rural governamental em 2018; 0 caso contrário.
INF_COOPERATIVA	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao serviço técnico da associação / cooperativa em 2018; 0 caso contrário.
INF_CONSULTOR-PARTICULAR	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao consultor técnico particular em 2018; 0 caso contrário.
INF_FORNEC-EQUIP	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao serviço técnico de fornecedores de máquinas e equipamentos em 2018; 0 caso contrário.

(continua)

Quadro 4 – Descrição das variáveis (continuação)

Variáveis	Descrição das variáveis
Fontes de informação agropecuária	
INF_FORNEC-ADUBO	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao serviço técnico de fornecedores de adubos e defensivos em 2018; 0 caso contrário.
INF_USINA	Variável binária. Recebe 1 se o produtor teve acesso ao serviço técnico ofertado pelo comprador de cana (usina); 0 caso contrário.
INF_OUTROS-PRODUTORES	Variável binária. Recebe 1 se o produtor conversou com outros produtores para trocar informações agropecuárias em 2018; 0 caso contrário.
INF_INTERNET	Variável binária. Recebe 1 se o produtor utilizou a internet para buscar informações agropecuárias em 2018; 0 caso contrário.
EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	Variável discreta. Indica a soma dos eventos agropecuários (palestras técnicas, dias de campo e feiras agropecuárias) que o produtor participou em 2018.
EVENTO_PALESTRAS	Variável discreta. Indica a quantidade de palestras técnicas que o produtor participou em 2018.
EVENTO_DIAS-DE-CAMPO	Variável discreta. Indica a quantidade de dias de campo que o produtor participou em 2018.
EVENTO_FEIRAS	Variável discreta. Indica a quantidade de feiras agropecuárias que o produtor participou em 2018.
Capital Humano	
Nível de escolaridade	
ANOS-DE-ESTUDO	Variável discreta. Indica a quantidade de anos de escolaridade formal do produtor.
NÍVEL_ESCOLARIDADE	Variável categórica. Indica o nível de escolaridade do produtor medido em 5 categorias: sem escolaridade; 1ª a 4ª série do ensino fundamental; 5ª a 8ª série do ensino fundamental; 1ª a 3ª série do ensino médio; ensino superior completo.
SUPERIOR_COMPLETO ²	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou ter cursado nível superior completo; 0 caso contrário.
Idade	
IDADE_PRODUTOR	Variável discreta. Indica a idade do produtor, em anos.
IDADE_CATEG	Variável categórica. Indica o nível de idade do produtor medido em 3 categorias: igual ou inferior a 45 anos de idade; entre 46 e 65 anos de idade; mais de 65 anos de idade.
Experiência	
EXPERIÊNCIA_ANOS	Variável discreta. Indica a quantidade de anos de experiência do produtor com cana-de-açúcar.
EXPERIÊNCIA_CATEG	Variável categórica. Indica o nível de experiência com cana-de-açúcar do produtor, medido em 3 categorias: Menos de 5 anos de experiência; De 6 a 10 anos de experiência; Mais de 10 anos de experiência.
EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou ter experiência prévia em atividades relacionadas às TAPs; 0 caso contrário.
Tamanho da propriedade	
ÁREA_TOTAL	Variável contínua. Indica a área total sob gestão do produtor, em hectares.
ÁREA_COM-CANA	Variável contínua. Indica a área com cana-de-açúcar sob gestão do produtor, em hectares.
LN_ÁREA-COM-CANA ²	Variável contínua. Indica o logaritmo natural de área com cana sob gestão do produtor
Acesso a recurso financeiro	
Acesso a crédito	
OBTEVE_CRÉDITO	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou ter obtido crédito rural considerando as últimas 3 safras; 0 caso contrário.
VOLUME_CRÉDITO	Variável contínua. Indica o volume de crédito obtido pelo produtor, em reais (R\$), considerando as últimas 3 safras.
VOLUME_CRÉDITO/HA	Variável contínua. Indica a razão entre volume de crédito obtido, em reais (R\$), considerando as últimas 3 safras, dividido pela área de cana sob gestão do produtor.

(continua)

Quadro 4 – Descrição das variáveis (continuação)

Variáveis	Descrição das variáveis
Acesso a recurso financeiro	
Renda	
RENDA_FORA	Índice. Indica o percentual de renda de outras atividades não ligadas a cana-de-açúcar em relação a renda total do produtor. Apresenta valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, menor será a dependência do produtor da renda obtida pela cana-de-açúcar.
Característica topográfica da propriedade	
TOPOGRAFIA_DECLIVOSA	Índice. Indica o percentual da propriedade com topografia declivosa, isto é, com declividade superior a 12%. Apresenta valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior será a concentração de terras do produtor com declividade superior a 12%.
Condição fundiária	
PROPRIEDADES_PROPRIAS	Índice. Indica a razão entre o número de propriedades próprias pelo número total de propriedades. Apresenta valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior será a concentração de terras próprias do produtor.
TERRAS_ARRENDADAS	Variável binária. Recebe 1 se o produtor possui terras arrendadas; 0 caso contrário.
Gestão da propriedade	
Diversificação de atividades	
DEPENDENCIA_ATIVIDADE	Índice. Indica a razão entre a área agrícola com a cana-de-açúcar, pela área total gerenciada pelo produtor. Apresenta valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior será a dependência do produtor com relação a produção de cana
Uso de outras tecnologias	
USO_SOFTWARES	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou usar softwares para ajudar na gestão; 0 caso contrário.
USO_LEGUMINOSA	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou fazer rotação de cultura com leguminosas; 0 caso contrário.
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou que escolhe a variedade de cana adaptada às condições locais; 0 caso contrário.
USO_MPB ¹	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou que usa mudas sadias e/ou MPB; 0 caso contrário
Comportamento diante de uma nova tecnologia	
percepção dos produtores quanto...	
PERCEP_PRODUTIVIDADE	Variável categórica. Indica a percepção do produtor quanto a PRODUTIVIDADE caso ele venha a adotar TAPs. A percepção do produtor foi obtida em uma escala de três pontos, em que: 1=diminuiria, 2=não mudaria e 3= aumentaria.
PERCEP_CUSTO	Variável categórica. Indica a percepção do produtor quanto a CUSTOS DE PRODUÇÃO caso ele venha a adotar TAPs. A percepção do produtor foi obtida em uma escala de três pontos, em que: 1=diminuiria, 2=não mudaria e 3= aumentaria.
PERCEP_MÃO-DE-OBRA	Variável categórica. Indica a percepção do produtor quanto a CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO DA MÃO DE OBRA caso ele venha a adotar TAPs. A percepção do produtor foi obtida em uma escala de três pontos, em que: 1=diminuiria, 2=não mudaria e 3= aumentaria.
PERCEP_INVESTIMENTO	Variável categórica. Indica a percepção do produtor quanto a INVESTIMENTO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS caso ele venha a adotar TAPs. A percepção do produtor foi obtida em uma escala de três pontos, em que: 1=diminuiria, 2=não mudaria e 3= aumentaria.
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE ²	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou que sua percepção é de aumentar a produtividade caso venha adotar TAPs; 0 caso contrário.
PERCEP_AUMENTAR_CUSTO ²	Variável binária. Recebe 1 se o produtor indicou que sua percepção é de aumentar o custo de produção caso venha adotar TAPs; 0 caso contrário.

¹ MPB → Muda Pré-Brotada. ²Variáveis construídas para serem utilizadas no modelo de dados de contagem.

4.2 Modelo de dados de contagem

O processo de adoção de TAPs possui diferenças quando comparado com a adoção de outras tecnologias introduzidas na produção agrícola. A principal diferença vem do fato de que se pode adotar uma TAP de modo isolado, ou um conjunto maior de TAPs, cada uma com um objetivo específico (BARNES et al., 2019b; ISGIN et al., 2008; PAXTON et al., 2011). Por exemplo, alguns produtores podem optar em usar isoladamente a tecnologia de piloto automático em suas máquinas; outros produtores podem utilizar de imagens (satélite/ARP) para fazer o levantamento de pragas e doenças e realizar o controle por meio da aplicação de defensivos a taxa variada; outros ainda podem utilizar conjuntamente as três tecnologias – piloto automático, levantamento de pragas e doenças por imagens (satélite/ARP) e aplicação de defensivos a taxa variada. Portanto, pode-se afirmar que alguns produtores utilizam TAPs mais intensivamente do que outros. Propõe-se aqui que a intensidade em que um produtor adota TAPs pode ser medida pelo número de TAPs adotadas.

Após inspeção dos dados obtidos por meio dos questionários, verificou-se que, de fato, alguns produtores haviam adotado seis TAPs, enquanto outros adotaram apenas uma ou menos do que seis TAPs. Neste sentido, construiu-se uma variável para medir a intensidade de adoção, que é uma medida escalar do número de TAPs adotadas por cada produtor. Trata-se de um indicador capaz de representar a adoção e a intensidade de adoção de TAPs. A Tabela 1 apresenta a distribuição da frequência de produtores por número de TAPs adotadas. Observou-se que 78 produtores não adotaram TAPs, enquanto 13 produtores adotaram apenas 1 – sistematização do plantio com auxílio de GNSS e imagens (satélite / ARP); 25 produtores adotaram 2 TAPs – combinações de sistematização do plantio, colheita com piloto automático, análise de solo georreferenciada e levantamento de pragas e doenças utilizando imagens; 10 produtores utilizaram 3 TAPs em conjunto; 2 produtores utilizaram 4 TAPs; 1 produtor utilizou 5 TAPs, e apenas 2 produtores utilizaram as 6 TAPs. Dessa forma, obteve-se uma clara indicação de que alguns produtores são mais intensivos na adoção, enquanto outros são menos intensivos.

Tabela 1 – Distribuição da frequência de produtores por número de TAPs adotadas

Tecnologias	0	1	2	3	4	5	6	Total
Sistematização do plantio com auxílio de GNSS e Imagens (satélite / ARP)	0	13	25	10	1	1	2	52
Colheita com piloto automático	0	0	21	7	1	1	2	32
Análise de solo georreferenciada	0	0	2	8	2	1	2	15
Levantamento de praga e doenças utilizando imagens (ARP/satélite)	0	0	2	2	1	1	2	8
Aplicação de fertilizante e corretivos a taxa variada	0	0	0	3	2	1	2	8
Aplicação de defensivos a taxa variada	0	0	0	0	1	0	2	3
Total (frequência)	78	13	25	10	2	1	2	131
Percentual (%)	59,6	9,9	19,1	7,6	1,5	0,8	1,5	100

Alguns estudos sobre adoção de tecnologias na agricultura utilizaram modelos em que a variável dependente reflete a intensidade de adoção de tecnologias (ISGIN et al., 2008; PARK; LOHR, 2005; PAXTON et al., 2011; ZHANG et al., 2019). Isgin et al., (2008), por exemplo, utilizou o número total de TAPs adotadas como uma medida de intensidade de adoção. Estes autores acrescentam que esta forma de medir a intensidade de adoção é válida, pois:

- a) A adoção de cada TAP pode ser feita de modo independente. A adoção da maioria dos componentes é independente porque as necessidades das propriedades, as preferências do agricultor e as restrições financeiras são altamente variáveis e, portanto, os agricultores são propensos a escolher o conjunto tecnológico com base em suas necessidades e condições particulares. Em outras palavras, é frequente observar que os agricultores tendem a adotar partes do pacote de tecnologia ao invés de adotar todo o sistema.
- b) Quanto maior o conjunto de tecnologias adotados maior o benefício esperado. Os agricultores provavelmente percebem alguns componentes como mais importantes (lucrativos) do que outros, e estes terão prioridade de adoção.
- c) Não há limitações para um agricultor adotar um maior número de TAPs, exceto para aqueles casos em que as TAPs são vistas como não lucrativas

Paxton et al., (2011) também utilizaram como medida de intensidade o número de TAPs adotadas por produtores de algodão, considerando um conjunto total de dez tecnologias: i) monitor de produtividade com GPS; ii) monitor de produtividade sem GPS; iii) amostragem georreferenciada em grid; iv) amostragem em zonas de manejo; v) imagens de ARP; vi) imagens de satélite; vii) mapa topográfico; viii) dispositivos de GPS portáteis; ix) mapeamento de plantas; x) mapeamento digitalizado. Portanto, nestes

estudos, foram utilizados modelos de regressão de dados de contagem onde a variável dependente reflete o número de TAPs adotadas da mesma forma que se pretende realizar na presente tese. Como salientado por Isgin et al. (2008), os modelos de dados de contagem são úteis quando há muitas tecnologias sendo adotadas e a intensidade de adoção destas tecnologias é o centro de interesse. Assim, um modelo de dados de contagem será construído nessa tese por considerar, na mesma regressão, tanto a adoção, quanto a intensidade de adoção de TAPs pelos produtores de cana-de-açúcar.

Nos modelos de dados de contagem, a variável dependente (Y) assume valores inteiros e não negativos. No presente estudo, essa variável irá identificar a adoção e a intensidade de adoção de TAPs, assumindo os valores inteiros de 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com 0 indicando que nenhuma TAP foi adotada e 6 representa o número máximo de TAPs adotadas (ver Tabela 1).

Cameron e Trivedi (2013) apresentaram quatro modelos de dados de contagem: Poisson, binomial negativo (BN), Poisson inflado em zero (ZIP – *Zero Inflated Poisson*) e binomial negativo inflado em zero (ZINB – *Zero inflated negative binomial*).

O ponto de partida para definição do melhor modelo de regressão para dados de contagem é a verificação da distribuição da variável dependente. No modelo de Poisson, assume-se que ocorre a distribuição de mesmo nome:

$$P[Y = y] = \frac{e^{-\mu} \mu^y}{y!} \quad (5)$$

Onde μ é o *incidence rate ratio* (IRR), que é a taxa média de incidência do fenômeno estudado ou o número médio esperado de ocorrências para um determinado número de tecnologias adotadas. Um pressuposto do modelo de Poisson é a igualdade entre a média e a variância da variável dependente, também conhecido como equidispersão da distribuição (CAMERON; TRIVEDI, 2013; GREENE, 2003). Caso este pressuposto seja violado, o modelo binomial negativo torna-se mais apropriado (GREENE, 2003; ZHANG et al., 2019). Greene (2003) generalizou o modelo de Poisson, introduzindo um efeito individual não observado na média condicional:

$$\ln u_i = x'_i \beta + \epsilon_i = \ln \lambda_i + \ln u_i \quad (6)$$

Onde a perturbação ϵ_i reflete um erro de especificação como no modelo de regressão clássico. Então a distribuição condicional do modelo Binomial Negativo, permanece uma distribuição de Poisson, porém com média e variância condicionais u_i :

$$f(y_i|x_i) = \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda_i u_i} (\lambda_i u_i)^{y_i}}{y_i!} g(u_i) du_i \quad (7)$$

Greene (2003) ainda acrescenta que o teste de *Pearson goodness-of-fit* pode ser usado para verificar a média e a variância da distribuição de Poisson. Em particular, este teste considera a hipótese nula (H_0) quando a média e a variância são iguais, e a hipótese alternativa (H_1) caso contrário. Assim, se o *p-valor* deste teste for estatisticamente significativo, sugere-se estimar o modelo binomial negativo, caso contrário, indica-se continuar com o modelo Poisson (ISGIN et al. 2008; MUKHERJEE; RYAN, 2020; ZHANG et al. 2019). Outra forma de verificar a equidispersão da distribuição de Poisson é o uso do teste de razão de probabilidade de $\alpha=0$ (*likelihood-ratio test of $\alpha=0$*), realizado após estimação do modelo Binomial Negativo. Se o parâmetro de dispersão, α , for significativamente maior que zero (i. e. $p\text{-valor} < 10\%$), então os dados estão mais dispersos e são mais bem estimados por meio de um modelo binomial negativo; caso contrário, indica-se continuar com um modelo Poisson.

Outro problema frequentemente abordado nos estudos que utilizam modelos de dados contagem, está relacionado com a incidência elevada de observações com valor zero na variável dependente (CAMERON; TRIVEDI, 2013), como é o caso do indicador de intensidade de adoção aqui construído. Nesse caso, indica-se utilizar uma variação dos modelos Poisson e binomial negativo, também denominados de zero inflado. Nos modelos de dados de contagem zero inflado, uma proporção de zeros, π , é adicionada ao agrupamento de probabilidades em zero, enquanto as frequências diferentes de zero são reduzidas por um valor correspondente, $1 - \pi$:

$$\begin{array}{lll} \text{Para Poisson} & Pr(y_i) = \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i} & y_i = 0 \\ \text{com zero} & & \\ \text{inflado (ZIP)} & Pr(y_i) = (1 - \pi_i) \frac{e^{-\lambda} \lambda^{y_i}}{y_i!} & y_i = 1, 2, 3, \dots \end{array} \quad (8)$$

$$\begin{array}{lll} \text{Para binomial} & Pr(y_i) = \pi_i + (1 - \pi_i) \left(\frac{1}{1 + \alpha \lambda_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} & y_i = 0 \\ \text{negativo com} & & \\ \text{zero inflado} & Pr(y_i) = (1 - \pi_i) \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha})}{y_i! \Gamma(\frac{1}{\alpha})} \left(\frac{1}{1 + \alpha \lambda_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{\alpha \lambda_1}{1 + \alpha \lambda_1} \right)^{y_i} & y_i = 1, 2, 3, \dots \\ \text{(ZINB)} & & \end{array} \quad (9)$$

onde Γ é a função gama e α o parâmetro de dispersão. Modelos de regressão com zero inflado, como os modelos ZIP e ZINB, são sugeridos para resolver o problema de excesso

de zeros. Tanto o ZIP quanto o ZINB incluem uma regressão *logit* (ou *probit*) para o grupo de observações em zero, seguida pela estimativa de Poisson (caso o modelo seja ZIP) ou a estimativa binomial negativa (caso o modelo seja ZINB). A escolha entre os modelos ZIP ou ZINB dependerá da equidispersão da distribuição da variável dependente, que pode ser verificada por meio dos testes *Pearson goodness-of-fit* e razão de probabilidade de $\alpha=0$. Se existir igualdade entre a média e a variância da variável dependente, o modelo indicado é o ZIP; caso contrário, indica-se utilizar o ZINB. Além disso, é possível realizar o teste estatístico *Vuong* para verificar a real necessidade de se utilizar um modelo zero inflado em comparação com os modelos tradicionais (Poisson e binomial negativo). Desta forma, se o $P > |z|$ do teste *Vuong* for estatisticamente significativo, os modelos ZIP ou ZINB serão indicados; caso o teste não apresente significância estatística, os modelos Poisson ou binomial negativo prevalecerão (CAMERON; TRIVEDI, 2013; GREENE, 2003).

Portanto, nos modelos de dados de contagem ZIP ou ZINB, duas regressões internas são estimadas consecutivamente: *logit* binário e dados de contagem. O objetivo da regressão *logit* binário é comparar não adotantes com adotantes de TAPs. Os valores para os coeficientes das variáveis independentes são estimados e apresentados na parte “*inflated*”. A segunda regressão, por sua vez, é estimada considerando o número de TAPs adotadas por cada produtor (i.e., intensidade de adoção) e apresentado na parte de “dados de contagem”.

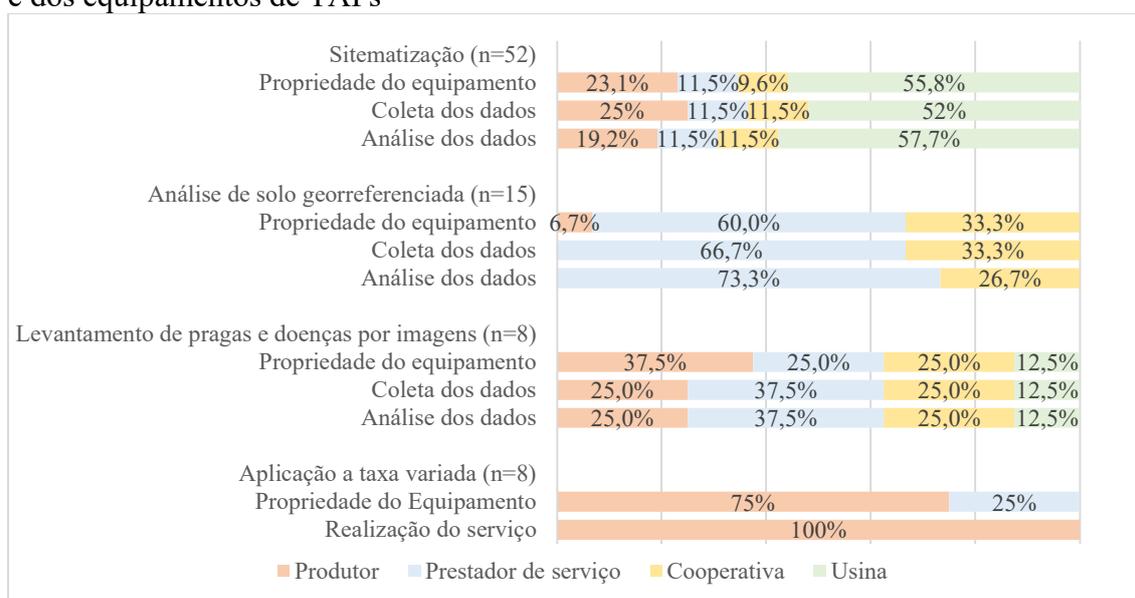
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as análises a partir dos dados coletados, cumprindo os objetivos propostos na tese. Neste sentido, inicia-se com a identificação dos agentes envolvidos na coleta e análise dos dados e dos equipamentos de TAPs. Descreve-se as barreiras enfrentadas pelos não adotantes. Na sequência, apresentam-se estatísticas descritivas e testes de hipótese com o intuito de identificar os potenciais fatores determinantes da adoção de TAPs. Os potenciais fatores serão testados em um modelo de dados de contagem para verificar quais realmente determinam a adoção e intensidade de adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar.

5.1 Terceirização na adoção de TAPs, dificuldades pós-adoção e barreiras

A aplicação dos questionários possibilitou identificar os agentes envolvidos na coleta e análise dos dados e dos equipamentos de TAPs (ver Gráfico 1). Para cada TAP adotada, o produtor adotante informou quem era o proprietário do equipamento, quem realizou a coleta das informações e quem foi o responsável pelas análises das informações. Dessa forma, foi possível identificar os principais agentes envolvidos na terceirização das atividades. Em geral, quatro agentes foram identificados: i) produtor; ii) prestador de serviço não vinculado a cooperativas; iii) cooperativas; e, iv) comprador de cana (usina).

Gráfico 1 – Principais agentes envolvidos na terceirização da coleta e análise dos dados e dos equipamentos de TAPs

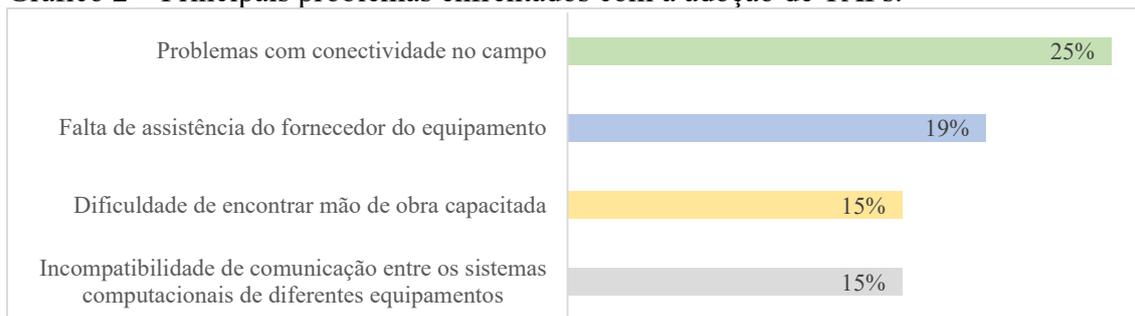


Observa-se no Gráfico 1 que a usina foi o principal agente envolvido na terceirização da sistematização do plantio, tanto na posse dos equipamentos (55,8%), quanto na coleta (52%) e análise dos dados (57,7%). Destaca-se ainda que alguns produtores adotantes estão realizando essa prática de modo autônomo, com seus próprios recursos em termos de equipamentos (23,1%), equipe de coleta (25%) e análise de dados (19,2%). Por sua vez, a análise de solo georreferenciada tem sido realizada por prestadores de serviço (66,7%) e cooperativas (33,3%). Apenas um produtor indicou ter o equipamento (quadriciclo). Entretanto, o produtor contrata prestadores de serviço para a coleta e a análise dos dados. Estes números corroboram o estudo de Erickson, Lowenborg-Deboer e Bradford (2017), que mostraram que a análise de solo georreferenciada foi a principal TAP oferecida por prestadores de serviço especializados.

Duas TAPs foram difundidas com menor intensidade entre os produtores entrevistados: o levantamento de pragas e doenças utilizando imagens (satélite / ARP) e a aplicação a taxa variada (fertilizante, corretivo ou defensivos). No caso das imagens para levantamento de pragas e doenças, observa-se a predominância na contratação de terceiros (prestadores, cooperativa e usina). Enquanto, na aplicação de insumos a taxa variada, observa-se que 75% dos produtores possuem o equipamento e 100% deles são responsáveis pela realização dos serviços.

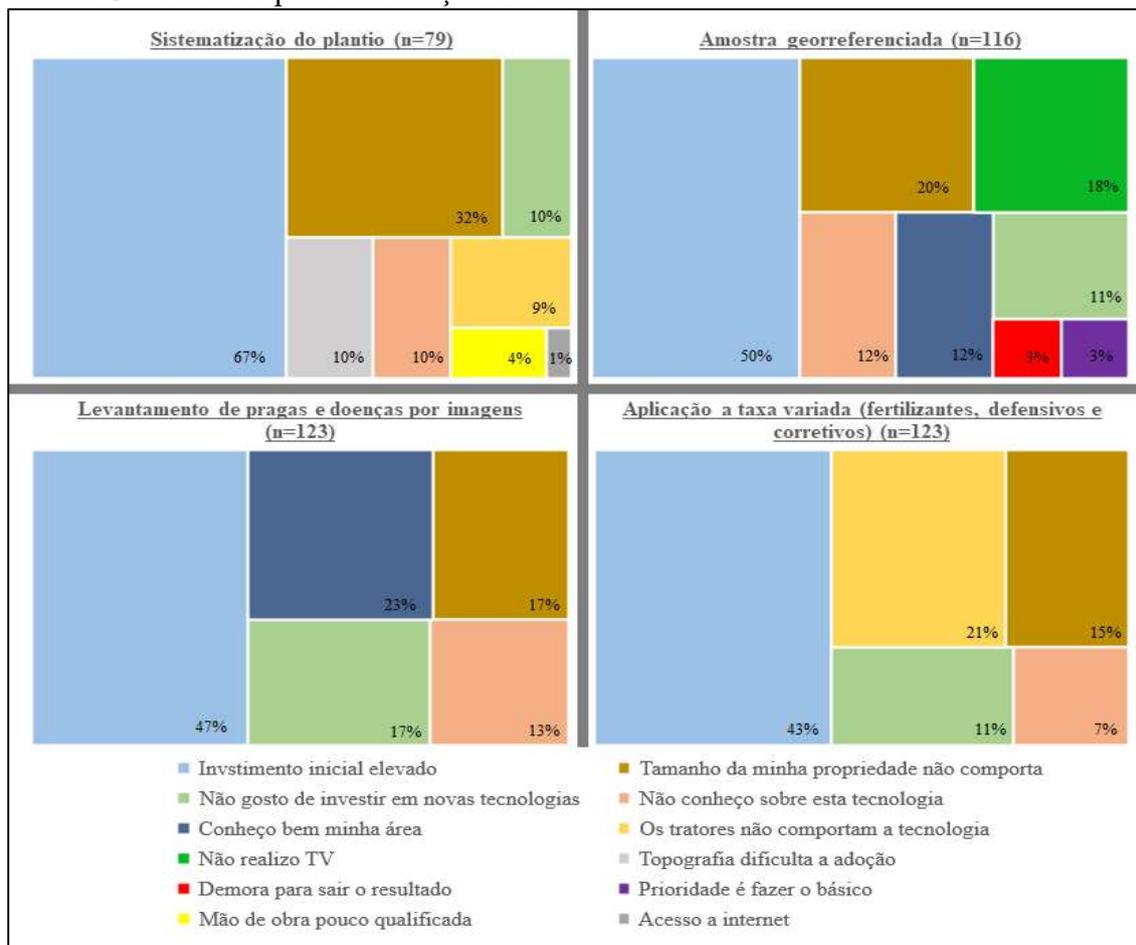
Os produtores adotantes identificaram os principais problemas que enfrentaram após a adoção de TAPs (ver Gráfico 2). Nota-se que entre os adotantes, 25% indicaram enfrentar problemas com conectividade no campo, 19% com falta de assistência técnica do fornecedor do equipamento, 15% indicaram ter problemas com falta de mão de obra capacitada e 15% com incompatibilidade de comunicação entre os sistemas computacionais de diferentes equipamentos agrícolas para a aplicação da tecnologia. Com relação ao problema de incompatibilidade de comunicação, um dos produtores destacou: *“tenho uma colhedora da Marca X e um trator para sulco da Marca Y, o sistema computacional (software) de uma marca não conversa com o da outra, por isso, utilizo piloto automático apenas para o plantio, mas não consigo utilizar na colheita”*. Outro produtor destacou que a assistência técnica não tinha a devida capacitação: *“as revendas precisam de mais qualificação no suporte técnico. Existe muita oferta de máquinas e equipamentos, mas pouco suporte técnico. Quando surgem dificuldades ou algum erro específico, as revendas não possuem pessoal capacitado para auxiliar”*.

Gráfico 2 – Principais problemas enfrentados com a adoção de TAPs.



Os principais motivos apontados pelos produtores não adotantes para não adotarem as TAPs são apresentados no Gráfico 3. Observa-se que a principal barreira apontada para adoção destas tecnologias é o “investimento inicial elevado”. Algumas TAPs necessitam de elevado investimento inicial, que deve ser amortizado por vários anos para se tornar economicamente viável ao pequeno e médio agricultor. Pivoto (2018), em um estudo com produtores de grãos do sul do país, também identificou o “investimento inicial elevado” como a principal barreira a adoção de TAPs. A segunda barreira identificada foi a escala de produção, conforme indica a fala de um produtor: “*O tamanho da minha propriedade não comporta*”. A adoção das TAPs está associada a investimento em capital imobilizado (aquisição de máquinas e equipamentos) ou custos fixos (prestação de serviços, por exemplo). Esses custos, quando calculados por tonelada produzida, tendem a ser menores em grandes propriedades. Portanto, há economias de escala a serem consideradas na adoção (FERNANDEZ-CORNEJO et al., 1994).

Gráfico 3 – Motivos para não adoção de TAPs



Na próxima seção se utiliza de estatísticas descritivas e testes de hipótese com o objetivo de identificar os fatores que discriminam os dois grupos de produtores (adotantes e não adotantes).

5.2 Perfil socioeconômico e características da produção e da propriedade rural: comparando adotantes e não adotantes de TAPs

A adoção e a intensidade de adoção de TAPs são decisões influenciadas por um conjunto de fatores relacionados às características individuais, comportamentais e socioeconômicas dos produtores; às características de suas propriedades e do seu sistema de produção; e às características da tecnologia. Neste sentido, estatísticas descritivas e testes de hipótese foram utilizados com o objetivo de identificar potenciais fatores que diferenciam os dois grupos de produtores – adotantes de TAPs (n=53) e não adotantes (n=78) – e, assim, identificar variáveis que serão testadas como *proxies* para fatores determinantes da adoção por meio do modelo econométrico proposto. A seguir, os dois

grupos de produtores serão comparados com base nos fatores identificados na revisão de literatura e descritos no Quadro 4 (presente no método).

a. Fontes de informação agropecuária

O acesso às fontes de informação agropecuária pode afetar a decisão dos produtores adotarem uma ou um conjunto de TAPs. A Tabela 2 mostra que, na média, os adotantes consultaram 5,98 fontes de informação, cerca de uma mais que os não adotantes (5,03) (INF_NÚMERO-MÉDIO), com nível de significância estatística de 1%. Analisando cada fonte de modo particular, pode-se observar um reduzido uso da extensão rural governamental (INF_EXTENSÃO-RURAL) nos dois grupos (apenas 6,87% dos produtores totais). Por outro lado, observa-se que o apoio técnico promovido por cooperativas e associações agropecuárias (INF_COOPERATIVA) foi importante como fonte de informação para a maioria dos produtores (93,13%). Entretanto, nenhuma destas duas fontes apresentou diferença estatisticamente significativa a ponto de diferenciar os dois grupos. Esse resultado deve ser analisado com cuidado, afinal a maioria dos entrevistados foi indicada por uma cooperativa.

Tabela 2 – Fontes de informação sobre agropecuária

	<u>Média / Freq. (%)</u>	<u>Adotante (n = 53)</u>	<u>Não adotante (n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
Fontes de informação sobre agropecuária					
INF_NÚMERO-MÉDIO	Média	5,98	5,03	5,41	Rejeita***
INF_EXTENSÃO-RURAL	%	7,55	6,41	6,87	Aceita
INF_COOPERATIVA	%	90,57	94,87	93,13	Aceita
INF_CONSULTOR- PARTICULAR	%	26,42	6,41	14,50	Rejeita***
INF_FORNEC-EQUIP	%	58,49	37,18	45,80	Rejeita**
INF_FORNEC-ADUBO	%	54,72	46,15	49,62	Aceita
INF_USINA	%	66,04	44,87	53,44	Rejeita**
INF_OUTROS- PRODUTORES	%	90,57	85,90	87,79	Aceita
INF_INTERNET	%	81,13	70,51	74,81	Aceita
Eventos					
EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	Média	11,51	7,98	9,40	Rejeita**
EVENTO_PALESTRAS	Média	6,83	5,19	5,85	Rejeita*
EVENTO_DIAS-DE-CAMPO	Média	3,23	1,69	2,31	Rejeita***
EVENTO_FEIRAS	Média	1,45	1,10	1,24	Rejeita*

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

A literatura tem mostrado que a extensão rural fornecida pelo governo foi de grande relevância para alavancar a adoção de novas práticas agrícolas e o crescimento da agricultura brasileira na década de setenta. No entanto, a presença do Estado tem se reduzido gradativamente e esta fonte de orientação técnica tem sido substituída por organizações não governamentais, a exemplo de cooperativas e associações de produtores rurais (SOUZA FILHO et al., 2011). Os resultados também mostram que o contato com outros produtores (INF_OUTROS-PRODUTORES) e o uso da internet (INF_INTERNET) foram fontes de informação agropecuária muito utilizadas pelos produtores entrevistados. Entretanto, os testes de hipótese não mostraram diferenças estatisticamente significantes entre adotantes e não adotantes de TAPs.

Consultores técnicos particulares (INF_CONSULTOR_PARTICUALR), fornecedores de máquinas e equipamentos (INF_FORNEC-EQUIP) e compradores de cana (INF_USINA) foram fontes de informação que apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos ao nível de 1%, 5% e 5%, respectivamente. Estas três fontes foram mais consultadas por produtores que adotaram TAPs do que por produtores que não adotaram. Em geral, os adotantes dependem de fontes de informação especializadas e que forneçam orientação técnica de forma mais ativa (DABERKOW; McBRIDE, 2003; WALTON et al., 2010). Além disso, como sugerido por Bell e Pavitt (1993), o setor agropecuário possui um padrão de acumulação tecnológica dominada por fornecedores, isto é, a mudança tecnológica neste setor é provocada quase que exclusivamente por fornecedores de máquinas e equipamentos e outros insumos de produção, como sementes e defensivos. Neste caso, destaca-se também o papel muito importante desempenhado pelo comprador (usina) no processo de difusão de TAPs. Desta forma, pode-se pensar que, em muitos casos, o produtor por si só não “busca” à adoção de uma nova tecnologia, porém, é incentivado por alguns agentes da cadeia a adotá-la.

A participação de produtores rurais em eventos como palestras técnicas (EVENTO_PALESTRAS), dias de campo (EVENTO_DIAS-DE-CAMPO) e feiras agropecuárias (EVENTO_FEIRAS), também são consideradas como importantes fontes de acesso à informação (LARSON et al., 2008; WALTON et al., 2008; WATHCARAANANTAPONG et al., 2013). A informação adquirida por meio destes eventos auxilia o produtor na tomada de decisão e pode reduzir parte do risco percebido associado à adoção de novas tecnologias. A Tabela 2 mostra que o adotante de TAPs participou de um número maior de eventos agropecuários (EVENTO_NÚMERO-MÉDIO) do que o produtor não adotante. Em média, um adotante participou de 3,5 eventos a mais do que um produtor não adotante. A diferença foi significativa para todos

os tipos de eventos, seja nas palestras técnicas, dias de campo ou mesmo feiras agropecuárias.

b. Capital Humano

A Tabela 3 apresenta as médias ou frequências das variáveis escolaridade, idade, anos de experiência com cana-de-açúcar e experiência prévia com TAPs, dos dois grupos de produtores. A variável ANOS-DE-ESTUDO mostrou-se como uma variável diferenciadora dos adotantes de TAPs, com nível de significância estatística de 10%. Em média, os produtores adotantes possuem 2 anos a mais de estudo que os não adotantes. Além disso, observa-se uma frequência maior de adotantes em extratos de maior nível de escolaridade (NÍVEL_ESCOLARIDADE). Tal fato fica evidente quando se observa o extrato ensino superior completo, que contém 49% dos adotantes, contra apenas 23% dos não adotantes, com significância estatística de 1%. Outros estudos também mostraram a existência de relação positiva entre o nível de escolaridade do produtor e a adoção de TAPs (BERNARDI; INAMASU, 2014; JENKINS et al, 2011; PAXTON et al, 2011; WATCHARAANANTAPONG et al, 2013).

Tabela 3 – Escolaridade, Idade e Experiência do produtor

	<u>Média</u> <u>/ Freq.</u> <u>%</u>	<u>Adotante</u> <u>(n = 53)</u>	<u>Não</u> <u>adotante</u> <u>(n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
Nível de escolaridade					
ANOS-DE-ESTUDO	Média	11,00	9,00	9,80	Rejeita*
NÍVEL_ESCOLARIDADE					
Sem instrução		0,00	0,00	0,00	
1ª a 4ª série do ensino fundamental		11,32	29,49	22,14	
5ª a 8ª série do ensino fundamental	%	9,43	10,25	9,92	Rejeita***
1ª a 3ª série ensino médio		30,19	37,18	34,35	
Ensino superior completo		49,06	23,08	33,59	
Idade do produtor					
IDADE_PRODUTOR	Média	51,81	53,22	52,65	Aceita
IDADE_CATEG					
“Menor que 45 anos”	%	26,42	30,77	29,01	
“de 45 a 65 anos”	%	58,49	50,00	53,44	Aceita
“Maior que 65 anos”	%	15,09	19,23	17,56	
Experiência					
EXPERIÊNCIA_ANOS	Média	23,20	30,49	27,54	Rejeita**
EXPERIÊNCIA_CATEG					
“Até 5 anos de experiência”		3,77	2,56	3,05	
“de 6 a 10 anos de experiência”	%	9,43	8,97	9,16	Aceita
“Mais de 10 anos de experiência”		86,79	88,46	87,79	
EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	%	15,09	5,13	9,16	Rejeita*

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

Observa-se ainda na Tabela 3 que os produtores entrevistados possuem idade média (IDADE_PRODUTOR) de 52,65 anos, não apresentando nível de significância estatística que possa diferenciar os grupos analisados. Mesmo estratificando a variável em três níveis (IDADE_CATEG), não foi possível estabelecer diferença significativa entre os adotantes e não adotantes. Também foi solicitado aos produtores que indicassem o tempo (em anos) de experiência com o cultivo de cana-de-açúcar (EXPERIÊNCIA_ANOS). No geral, os produtores estão na atividade há aproximadamente 27 anos e meio, o que mostra um elevado tempo de experiência com a cultura. Nota-se que os adotantes de TAPs possuem, em média, menor tempo na atividade (23,20 anos) quando comparados com os não adotantes (30,49 anos), apresentando uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 5%. Entretanto, ao estratificar a variável em 3 níveis (EXPERIÊNCIA_CATEG) percebe-se que não há diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados. Observa-se ainda, que a maioria dos produtores (87,79%) têm mais de 10 anos de experiência com o cultivo da cana-de-açúcar, o que demonstra que os dois grupos de produtores possuem elevada experiência na atividade.

De maneira geral, a experiência na atividade pode ser interpretada como uma *proxy* para capital humano, pois reflete o conhecimento tácito dos agricultores, isto é, o conhecimento acumulado ou a *expertise* adquirida ao longo dos vários anos trabalhando na atividade (KOGUT; ZANDER, 1992), algo que é elevado nos dois grupos de produtores. No entanto, a formação de capital humano também pode ocorrer por meio da transmissão de conhecimento, por exemplo, por manuais técnicos, cursos de especialização, consultorias, livros etc. (NELSON; WINTER, 1982). Assim, ao comparar os dois grupos, percebe-se que os adotantes utilizam mais fontes de informação agropecuária, participam de um número maior de cursos e eventos direcionados a agricultura e possuem nível de escolaridade mais elevado que o grupo não adotante. Tal fato sugere que a adoção e a intensidade de adoção de TAPs podem estar mais vinculadas ao conhecimento explícito adquirido pelo produtor, do que com o conhecimento tácito acumulado ao longo dos anos de trabalho na atividade.

Adicionalmente, o produtor foi questionado se já havia exercido alguma atividade profissional relacionada com TAPs fora da propriedade rural (EXPERIÊNCIA_PRÉVIA). Os dados revelam que 15,09% dos adotantes indicaram ter tido experiência prévia em atividades relacionadas às TAPs, contra 5,13% dos produtores não adotantes, apresentando uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 10%.

Para Cohen e Levinthal (1990), o conhecimento prévio confere ao indivíduo capacidade de reconhecer o valor de novas informações, assimilá-las e aplicá-las. A perspectiva é que produtores que possuem conhecimento prévio sobre a tecnologia de interesse têm mais facilidade de avaliar seus benefícios e, possivelmente, estarão mais dispostos a adotá-las (ALSOS; LJUNGGREN; PETTERSEN, 2003).

c. Escala de produção

A escala de produção tem sido investigada em estudos empíricos para diferenciar os adotantes e não adotantes de uma tecnologia. Nos estudos que abordaram a adoção de TAPs, a escala tem sido medida por meio do uso de duas *proxies*: área total sob gestão (ÁREA_TOTAL) e área com a cultura de interesse (ÁREA_COM-CANA) (BARNES et al., 2019ab; LARSON et al., 2008; WALTON et al., 2010ab; WATHCARAANANTAPONG et al., 2014). Observa-se na Tabela 4 que as duas variáveis utilizadas como *proxy* para a escala de produção apresentaram diferença significativa a nível de 1% entre os grupos. A média da área com cana-de-açúcar dos produtores adotantes de TAPs (1.125,5 ha), por exemplo, é quatro vezes maior que a média de área dos não adotante (278,7 ha). Esse resultado é indicativo de que economias de escala afetam a adoção de TAPs. A ideia é que os custos fixos por unidade produzida associados ao custo da inovação são diluídos quando se tem um maior volume de produção (WALTON et al., 2010a). A existência de economias de escala apresenta-se, portanto, como uma barreira à adoção de algumas TAPs. Isso parece ser mais evidente no caso de equipamentos de maior custo, tais como os de aplicação a taxa variada de defensivos, fertilizantes e corretivos.

Tabela 4 – Variáveis relacionadas a tamanho da propriedade

<u>Variáveis</u>	<u>Média / Freq. (%)</u>	<u>Adotante (n = 53)</u>	<u>Não adotante (n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
ÁREA_TOTAL (em ha)	Média	1303,4	480,1	813,2	Rejeita***
ÁREA_COM-CANA (em ha)	Média	1125,5	278,7	621,3	Rejeita***

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

d. Acesso a recurso financeiro

Dado o alto custo de adoção de algumas tecnologias agrícolas, a disponibilidade de capital pode diferenciar os adotantes dos não adotantes. Nesse sentido, o acesso a

crédito pode ser uma característica diferenciadora na adoção e intensidade de adoção de TAPs. A Tabela 5 mostra que, considerando as últimas 3 safras, 64,89% dos produtores obtiveram crédito rural (OBTEVE_CRÉDITO). Observa-se ainda, que o percentual de adotantes de TAPs, que obtiveram crédito nas últimas 3 safras (73,58%), foi significativamente maior, ao nível de 10%, que o percentual de não adotantes (58,97%). Além disso, é possível observar que, na média, o volume de crédito obtido (VOLUME_CRÉDITO) pelos produtores adotantes (R\$2.050.377) foi superior aos não adotantes (R\$771.730), com diferença estatisticamente significativa ao nível de 1%. Entretanto, é importante salientar que o volume de crédito obtido pode sofrer influência do tamanho dos empreendimentos rurais. Neste sentido, a variável VOLUME_CRÉDITO/HA mostra que, na média, os produtores obtiveram R\$2.378 por hectare, não apresentando nível de significância estatística que possa discriminar os grupos analisados. Isto é, estatisticamente, os adotantes e não adotantes de TAPs obtiveram o mesmo volume de crédito por hectare.

Tabela 5 – Acesso a crédito e composição da renda do produtor

<u>Variáveis</u>	<u>Média</u> <u>/ Freq</u> <u>(%)</u>	<u>Adotante</u> <u>(n = 53)</u>	<u>Não</u> <u>adotante</u> <u>(n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
Acesso a crédito					
OBTEVE_CRÉDITO	%	73,58	58,97	64,89	Rejeita*
VOLUME_CRÉDITO	Média	2.050.377	771.730	1.289.046	Rejeita***
VOLUME_CRÉDITO/HA	Média	2.562	2.254	2.378	Aceita
Renda					
RENDA_FORA	Média	0,2434	0,3263	0,2927	Rejeita*

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

A variável RENDA_FORA foi utilizada como *proxy* para fonte adicional de recurso financeiro. Observa-se na Tabela 5 que há uma diferença entre os dois grupos, com nível de significância estatística de 10%. Na média, os produtores adotantes de TAPs possuem menor percentual de renda vinda de outras atividades além da cana (24,34%) do que os produtores não adotantes (32,63%). Tal resultado sugere que os produtores adotantes de TAPs são mais dependentes da renda oriunda da cana-de-açúcar. Uma maior renda familiar vinda da cana-de-açúcar, pode implicar mais tempo e trabalho empregados na atividade, permitindo ao produtor concentrar esforços para avaliar de maneira mais assertiva os riscos e oportunidades relacionados à produção.

e. Característica topográfica da propriedade

Para Mueller et al., 2010, a declividade do terreno é uma das principais características geomorfológicas limitantes à utilização de máquinas agrícolas, uma vez que está intimamente ligada às condições de tráfego, pois afeta a velocidade de deslocamento e a estabilidade das máquinas. Silva (2016) complementa ainda que, nas últimas décadas, as operações de colheita e plantio de cana-de-açúcar foram largamente mecanizadas. Entretanto, as máquinas e equipamentos disponíveis no mercado são aptas apenas para declividades inferiores a 12%.

Os dados da Tabela 6 mostram que os produtores adotantes de TAPs possuem, na média, menor percentual da área da propriedade com topografia declivosa (2,64%) do que os não adotantes (10,62%), com diferença significativa ao nível de 5%. Tal fato pode indicar que os não adotantes possuem menor probabilidade de mecanizar suas operações de colheita e plantio, o que por sua vez limita o uso das TAPs. Esse fato pode ser corroborado quando se observa o percentual da área de cana colhida por colheita manual. Nota-se que, na média, em 3,59% da área de cana dos produtores adotantes, foi realizada colheita manual. Esse percentual foi maior no caso dos não adotantes (20,96%), com significância estatística de 1%. Entretanto, vale destacar que os dois grupos possuem baixo percentual médio de área declivosa. Apenas 8 produtores da amostra indicaram ter mais de 40% da área de cana com topografia declivosa. Esses produtores possuíam menos de 80 hectares de cana, sendo que 6 deles não eram adotantes. Portanto, a maioria dos adotantes e não adotantes poderiam mecanizar suas operações, demonstrando que a declividade não seria um obstáculo à adoção de TAPs na amostra analisada.

Tabela 6 – Característica topográfica da propriedade

<u>Variáveis</u>	<u>Média</u> <u>/ Freq</u> <u>(%)</u>	<u>Adotante</u> <u>(n = 53)</u>	<u>Não</u> <u>adotante</u> <u>(n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão</u> <u>H₀</u>
TOPOGRAFIA_DECLIVOSA	Média	2,64%	10,62%	7,39%	Rejeita**
Percentual da área de cana colhida com colheita manual ¹	Média	3,59%	20,96%	13,93%	

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa. ¹ A variável foi inserida nesta seção para colaborar com a explicação da variável (TOPOGRAFIA_DECLIVOSA).

f. Condição fundiária

Os dados apresentados na Tabela 7 buscam identificar alguma associação entre a condição fundiária do produtor (i.e. proprietário, ou arrendatário da terra) e adoção de TAPs. Para isto foram utilizadas duas variáveis: PROPRIEDADES_ PRÓPRIAS e TERRAS_ ARRENDADAS. Nota-se que em ambos os casos a diferença entre os adotantes e não adotantes não foi estatisticamente significativa ao nível de 10%.

Tabela 7 – Propriedade da terra

<u>Variáveis</u>	<u>Média</u> <u>/ Freq.</u> <u>(%)</u>	<u>Adotante</u> <u>(n = 53)</u>	<u>Não</u> <u>adotante</u> <u>(n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão</u> <u>H₀</u>
PROPRIEDADES_ PRÓPRIAS	Média	0,66	0,67	0,65	Aceita
TERRAS_ ARRENDADAS	%	55,13	54,72	54,96	Aceita

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

g. Gestão da propriedade

A dependência econômica do produtor a uma determinada atividade agropecuária tem sido utilizada para identificar o nível de dedicação dos produtores a essa atividade (WALTON et al., 2008; WALTON et al., 2010a; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). O percentual de área destinado a essa atividade, tem sido utilizado como *proxy* para se medir essa dependência. Quanto maior o percentual, maior é a dependência econômica do produtor em relação a esta atividade. A Tabela 8 apresenta os valores estimados da dependência dos produtores em relação a cana-de-açúcar (DEPENDENCIA_ATIVIDADE). Esta variável corresponde ao percentual de área com cana em razão da área total gerenciada pelo produtor. Observa-se que há uma diferença significativa entre os dois grupos, ao nível de 5%. Os adotantes de TAPs possuem, em média, maior dependência da área de cana (86,17%) do que os não adotantes (74,67%). Este resultado complementa o resultado da variável RENDA_FORA, em que se observou que os adotantes de TAPs possuem maior dependência da renda da cana. Em que pese essa diferença, deve-se salientar que ambos os grupos possuem elevado percentual de área com cana, o que indica que ambos teriam elevada dedicação à gestão da atividade.

Tabela 8 – Diversificação da produção agropecuária e uso de outras tecnologias

<u>Variáveis</u>	<u>Média / Freq. (%)</u>	<u>Adotante (n = 53)</u>	<u>Não adotante (n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
Dependência da cana-de-açúcar					
DEPENDENCIA_ATIVIDADE	Média	0,8617	0,7467	0,7933	Rejeita**
Uso de outras tecnologias					
USO_SOFTWARES	%	73,58%	26,9%	45,8%	Rejeita***
USO_LEGUMINOSA	%	54,72	30,77	40,46	Rejeita***
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	%	94,34	75,64	83,21	Rejeita***
USO_MPB ¹	%	73,58	38,46	52,67	Rejeita***

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significante estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significante. ¹MPB → mudas pré-brotadas.

Segundo Watcharaanantapong et al. (2013), para adoção de TAPs é necessário que o produtor tenha algum conhecimento e/ou saiba utilizar softwares e aplicativos (USO_SOFTWARES) que o auxiliem na gestão das informações (coletar, armazenar, transmitir e interpretar dados). Neste sentido, os resultados da pesquisa mostraram diferença estatisticamente significante ao nível de 1% entre os adotantes e não adotantes de TAPs (ver Tabela 8). Observa-se que 73,6% dos adotantes utilizam algum tipo de software ou aplicativo de celular que os auxiliam na gestão da propriedade, contra apenas 26,9% dos não adotantes.

Apesar deste fato, o uso desta variável para explicar o processo de adoção tem recebido crítica de alguns autores (LARSON et al., 2008; ROBERTS et al., 2004; TEY; BRINDAL, 2012). A crítica, em particular, implica que para a adoção de TAPs é necessário que o produtor tenha algum conhecimento e/ou utilize softwares que o auxiliem na gestão das informações. Ou seja, dificilmente o produtor conseguiria adotar alguma TAP sem ter o prévio conhecimento e habilidade no uso destes softwares. Por este motivo, esta variável não será utilizada nos modelos econométricos. Ao leitor pode surgir uma dúvida: “se a crítica é verdadeira, por que 26,42% dos adotantes TAPs não utilizam *softwares* e aplicativos para gestão?”. A resposta a esse questionamento pode ser dada ao se analisar os agentes envolvidos na terceirização da coleta e análise dos dados. Todos os produtores que indicaram não utilizar *softwares* para auxiliar na gestão da propriedade e adotam TAPs, terceirizam a coleta e análise dos dados para usinas e/ou prestadores de serviço de AP.

O uso de outras práticas e tecnologias agrícolas pode diferenciar os grupos de produtores, tanto pela complementaridade entre as práticas em termos agrônômicos, como pela alta exigência em gerenciamento da produção. Exemplos dessas tecnologias são apresentados na Tabela 8. A expectativa é que a rotação de culturas com uso de leguminosa, a escolha de variedades adaptadas as condições edafoclimáticas e o uso de mudas sadias e/ou MPB são indicativos de melhores práticas de gestão executadas pelos produtores de cana-de-açúcar.

A rotação de culturas com uso de leguminosas no cultivo de cana-de-açúcar (USO_LEGUMINOSA) permite melhorar o nível de matéria orgânica do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, controlar a incidência de ervas daninhas e, ainda, reduzir as perdas por erosão do solo (OLIVEIRA; VIANA; RIBAS FILHO, 1997; PAUNGFOO-LONHIENNE et al, 2017). Verifica-se na Tabela 8 que 40,46% dos produtores entrevistados realizam rotação de cultura com leguminosas na renovação do canavial. Observa-se que 54,72% dos adotantes de TAPs fazem rotação de cultura, contra 30,77% dos não adotantes, apresentando diferença estatisticamente significativa entre os grupos, ao nível de 1%. O adequado manejo das variedades de cana possibilita ao produtor ganhos de produtividade, qualidade e longevidade do canavial. Para que o produtor possa alcançar esses ganhos, é importante que ele selecione, dentro das opções de variedades de cana ofertadas pelas instituições de pesquisa, aquelas que melhor se adaptam às condições locais. Para isso, deve prestar atenção em diversas características, como: exigência nutricional, maturação, brotação de soca na seca, brotação de soca na palha, fechamento de entrelinhas, sensibilidade à herbicidas, florescimento, entre outras (SILVEIRA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2002).

Observa-se na Tabela 8, que a escolha da variedade de cana adaptada às condições locais (USO_VARIEDADE-ADAPTADA) também apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos, ao nível de 1%. Os resultados indicam uma relação positiva entre a escolha da variedade e a adoção de TAPs. Isto é, um percentual maior de produtores que se preocupam com a escolha de uma variedade de cana que responda bem as condições locais, são adotantes de TAPs.

A escolha da muda é outro fator de extrema importância no plantio de cana-de-açúcar, pois as decisões tomadas neste momento irão influenciar todo o ciclo de cultivo, geralmente de cinco anos. Existem diversos métodos para a produção de mudas de cana que vão desde os mais clássicos, que consistem na retirada de fragmentos do colmo e transplantio para o solo, aos mais desenvolvidos como os sistemas de mudas pré-brotadas

(MPB), com produção de mudas livres de patógenos e alta homogeneidade (SENAR, 2018). Em todos os métodos, o uso de uma muda adequada pode evitar a propagação de pragas e doenças, bem como elevar a produtividade e longevidade do canavial (AMBROSANO et al., 2015). Neste sentido, os dados da Tabela 8 mostram um percentual maior de produtores adotantes de TAPs (73,58%), que possuem esse cuidado extra na escolha de mudas saudáveis e/ou MPB, quando comparados com os não adotantes (38,46%), apresentando uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 1%.

h. Comportamento diante de uma nova tecnologia

A pesquisa de campo também coletou informações sobre a percepção do produtor quanto ao impacto da tecnologia sob diversos fatores. As variáveis analisadas nessa seção objetivaram mensurar a percepção dos produtores *ex ante* à adoção. Solicitou-se aos produtores que manifestassem sua opinião a respeito de temas (produtividade, custos, capacitação e investimento). São avaliações subjetivas que foram respondidas por meio de uma escala de três pontos: diminuiria (1), não mudaria (2) ou aumentaria (3). Por exemplo, foi solicitado ao produtor que não adotou TAPs para que ele indicasse sua percepção com relação à mudança na “produtividade” caso ele viesse a adotar essas tecnologias. Se o produtor respondesse “3”, estaria avaliando que a adoção de TAPs aumentaria sua produtividade. A mesma solicitação foi realizada a quem já adota TAPs, entretanto, o produtor foi orientado a indicar a percepção que ele tinha antes da adoção.

As variáveis `PERCEP_PRODUTIVIDADE` e `PERCEP_CUSTO` mostraram diferenças estatisticamente significantes entre os grupos (ver Tabela 9). Com relação a primeira, observa-se que 86,8% dos produtores adotantes avaliaram que a produtividade aumentaria caso viessem a adotar TAPs, contra 71,8% do grupo não adotante. Praticamente o inverso pôde ser observado com relação a percepção de custo. A Tabela 9 mostra que a porcentagem de produtores adotantes (64,2%) que tinham a percepção de que com a adoção de TAPs seus custos de produção aumentariam foi menor do que a do grupo de não adotante (85,9%), apresentando diferença com nível de significância estatística de 1%.

Tabela 9 – Frequência relativa da percepção dos produtores sobre a adoção de TAPs

	<u>Percepção</u>	<u>Adotante</u> <u>(n = 53)</u>	<u>Não</u> <u>adotante</u> <u>(n = 78)</u>	<u>Total</u>	<u>Decisão H₀</u>
PERCEP_PRODUTIVIDADE	1 (em %)	1,9	0,0	0,8	Rejeita***
	2 (em %)	11,3	28,2	21,4	
	3 (em %)	86,8	71,8	77,8	
PERCEP_CUSTO	1 (em %)	1,9	1,3	1,5	Rejeita**
	2 (em %)	33,9	12,8	21,4	
	3 (em %)	64,2	85,9	64,1	
PERCEP_MÃO-DE-OBRA	1 (em %)	0,0	0,0	0,0	Aceita
	2 (em %)	30,2	30,8	30,5	
	3 (em %)	69,8	69,2	69,5	
PERCEP_INVESTIMENTOS	1 (em %)	26,4%	24,3%	25,1	Aceita
	2 (em %)	35,8%	21,7%	27,5	
	3 (em %)	37,7%	53,8%	47,3	

Asterisco (*) indica que a diferença entre os grupos adotantes e não adotantes é significativa estatisticamente, ao nível: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a diferença entre os grupos não foi significativa.

5.2.1 Síntese da comparação

Esta seção apresenta uma síntese dos resultados obtidos com as estatísticas descritivas e com os testes de hipóteses. A Tabela 10 apresenta as variáveis que apresentaram significância estatística para discriminar o grupo de adotantes de TAPs dos não adotantes, indicando os níveis de significância encontrados.

As variáveis que discriminaram estatisticamente os dois grupos amostrais (Tabela 10) serão testadas como fatores determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs, com exceção das variáveis EXPERIÊNCIA_ANOS, TOPOGRAFIA_DECLIVOSA e USO_SOFTWARES. Na média, os produtores da amostra apresentaram 27 anos e meio de experiência com cana, sendo que 87% possuem mais de 10 anos de experiência. Argumenta-se que a habilidade e a capacidade alocativa de um produtor com pelo menos 10 anos de experiência não seja menor do que aquele com 15 anos de experiência, por exemplo. Ambos possuem nível de experiência elevado. Com relação à topografia, em média, apenas 7,39% da área dos produtores possui topografia declivosa. Esse percentual é baixo e, portanto, os dois grupos de produtores teriam a possibilidade de adotar TAPs no restante da área. Por fim, a variável USO_SOFTWARES não será testada pois pressupõe-se que o produtor tenha algum conhecimento e/ou utilize de *softwares* que o auxilie na gestão das informações. Esta explicação foi utilizada em outros estudos (LARSON et al., 2008; ROBERTS et al., 2004; TEY; BRINDAL, 2012).

Tabela 10 – Síntese dos resultados obtidos por meio das estatísticas descritivas e testes de hipóteses para as variáveis analisadas

Fatores		Proxies	Significância estatística
<u>Fontes de informação agropecuária</u>		INF_NÚMERO-MÉDIO	1%
		INF_CONSULTOR-PARTICULAR	1%
		INF_FORNEC-EQUIP	5%
		INF_USINA	5%
		EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	5%
		EVENTO_PALESTRAS	10%
		EVENTO_DIAS-DE-CAMPO	1%
		EVENTO_FEIRAS	10%
<u>Capital Humano</u>	Nível de escolaridade	ANOS-DE-ESTUDO	10%
		NÍVEL_ESCOLARIDADE	1%
	Experiência	EXPERIÊNCIA_ANOS ¹	5%
EXPERIÊNCIA_PRÉVIA		1%	
<u>Tamanho da propriedade</u>		ÁREA_TOTAL	1%
		ÁREA_COM-CANA	1%
<u>Acesso a recurso financeiro</u>	Acesso a crédito	OBTEVE_CRÉDITO	10%
		VOLUME_CRÉDITO	1%
	Renda	RENDA_FORA	10%
<u>Característica topográfica da propriedade</u>		TOPOGRAFIA_DECLIVOSA ¹	5%
<u>Gestão da propriedade</u>	Diversificação de atividades	DEPENDENCIA_ATIVIDADE	5%
		USO_SOFTWARES ¹	1%
	Uso de outras tecnologias	USO_LEGUMINOSA	1%
		USO_VARIEDADE-ADAPTADA	1%
		USO_MPB	1%
<u>Comportamento diante de uma nova tecnologia</u>		PERCEP_PRODUTIVIDADE	1%
		PERCEP_CUSTO	5%

¹Variáveis que apresentaram significância estatística nos testes de hipótese, no entanto não serão testadas no modelo de dados de contagem.

Na próxima seção, utiliza-se um modelo de dados de contagem para testar os potenciais fatores determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs identificados nesta seção.

5.3 Determinantes da adoção e intensidade de adoção de TAPs

Esta seção tem por finalidade responder ao quinto e ao sexto objetivo específico propostos na presente tese: identificar e estimar o efeito dos fatores determinantes da adoção e da intensidade de adoção de TAPs. Para isso, foi utilizado um modelo de dados de contagem.

Conforme estabelecido na Tabela 1 do Capítulo Método, a variável dependente é um indicador de intensidade de adoção de TAPs, que varia de 0 (nenhuma TAP adotada) a 6 (todas as 6 TAPs adotadas). Verifica-se que 78 produtores não adotaram TAPs e 53

produtores adotaram de uma a seis TAPs. As variáveis explicativas utilizadas como *proxies* no modelo de dados de contagem são as que apresentaram significância estatística igual ou inferior a 10% nos testes de hipótese realizados na seção anterior. O Quadro 5 apresenta o conjunto de *proxies*, assim como os efeitos esperados na adoção e na intensidade de adoção de TAPs.

Quadro 5 – Variáveis explicativas utilizadas no modelo de dados de contagem

Proxy	Efeito esperado ¹
Fontes de informação agropecuária	
INF_CONSULTOR-PARTICULAR	(+)
INF_FORNEC-EQUIP	(+)
INF_USINA	(+)
EVENTO NÚMERO-MÉDIO	(+)
Capital Humano	
Nível de escolaridade	
SUPERIOR COMPLETO ²	(+)
Experiência	
EXPERIÊNCIA PRÉVIA	(+)
Escala de produção (tamanho da propriedade)	
LN ÁREA-COM-CANA ³	(+)
Acesso a recurso financeiro	
Acesso a crédito	
OBTEVE CRÉDITO	(+)
VOLUME CRÉDITO	(+)
Renda	
RENDA FORA	(+/-)
Gestão da propriedade	
Dependência da atividade agropecuária	
DEPENDENCIA_ATIVIDADE	(-)
Dependência da atividade agropecuária	
USO_LEGUMINOSA	(+)
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	(+)
USO_MPB	(+)
Comportamento diante de uma nova tecnologia	
percepção dos produtores quanto...	
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE ⁴	(+)
PERCEP_AUMENTAR_CUSTOS ⁵	(-)

¹Sinal esperado para adoção e intensidade de adoção. ²*Proxy* adaptada para melhor se enquadrar no modelo econométrico. Variável binária, recebe 1 se o produtor indicou ter cursado nível superior completo; 0 caso contrário. ³*Proxy* adaptada para melhor se enquadrar no modelo econométrico. Variável contínua, indica o logaritmo natural de área com cana sob gestão do produtor. ⁴*Proxy* adaptada para melhor se enquadrar no modelo econométrico. Variável binária, recebe 1 se o produtor indicou que sua percepção é de aumentar a produtividade caso venha adotar TAPs; 0 caso contrário. ⁵*Proxy* adaptada para melhor se enquadrar no modelo econométrico. Variável binária, recebe 1 se o produtor indicou que sua percepção é de aumentar o custo de produção caso venha adotar TAPs; 0 caso contrário. O Quadro 4 na seção de Método apresenta a descrição da construção destas variáveis. Destaca-se também que não serão testadas todas as variáveis em conjunto, pois há *proxies* diferentes para a mesmo fator.

Antes de iniciar a estimação do modelo, realizou-se a análise das correlações entre as variáveis independentes. Os resultados das correlações são apresentados no APÊNDICE B. Para a exclusão das variáveis correlacionadas, utilizou-se os parâmetros definidos por Hair Jr. et al. (2005), que estão expostos no Quadro 6. Conforme o valor de referência proposto, optou-se por retirar do modelo as variáveis que apresentaram valor de correlação a partir da classificação moderada.

Quadro 6 – Força de associação do valor de correlação

Variação do coeficiente	Força da associação
$\pm 0,91$ a $\pm 1,00$	Muito Forte
$\pm 0,71$ a $\pm 0,90$	Alta
$\pm 0,41$ a $\pm 0,70$	Moderada
$\pm 0,21$ a $\pm 0,40$	Pequena mais definida
$\pm 0,01$ a $\pm 0,20$	Leve, quase imperceptível

Fonte: Hair Jr. et al. 2005

Como pode ser observado no APÊNDICE B, foram identificados três pares de variáveis com correlação moderada: LN_ÁREA-COM-CANA e VOLUME_CRÉDITO (0,4730); DEPENDENCIA_ATIVIDADE e RENDA_FORA (0,4360), e; LN_ÁREA-COM-CANA e USA_MPB (0,4820). Dessa forma, optou-se por iniciar o modelo com as variáveis que apresentaram maior significância nos testes de hipóteses realizados na seção de estatística descritiva, no caso, LN_ÁREA-COM-CANA e DEPENDENCIA_ATIVIDADE, sendo retiradas da análise de regressão as variáveis VOLUME_CRÉDITO, RENDA_FORA e USO_MPB. Para testar o fator relacionado a escolaridade foi utilizado a variável SUPERIOR_COMPLETO, pois não apresentou correlação com outras variáveis do modelo.

Como recomendado por Cameron e Trivedi (2013), iniciou-se a análise por uma regressão de Poisson com todas as variáveis descritas no Quadro 5, excluindo apenas as variáveis correlacionadas, mencionadas anteriormente (ver Tabela 20 no APÊNDICE C). Na sequência, foi realizado o teste de *Pearson goodness-of-fit* (ver Tabela 21 no APÊNDICE C) para verificar a distribuição da variável dependente. Este teste é utilizado para verificar o pressuposto básico de equidispersão da distribuição de Poisson, ou seja, se existe igualdade entre a média e a variância da distribuição da variável dependente. O *p-valor* dos testes apresentou nível de significância estatística superior a 10%, sugerindo, portanto, que se utilize os modelos Poisson. Outro teste recomendado pelos autores é o *Likelihood-ratio test of alpha=0*. Este teste verifica se o parâmetro de dispersão alpha, do modelo binomial negativo é significativamente maior que zero. O *p-valor* do teste foi de

0,5000, indicando que o parâmetro de dispersão alpha é igual a zero, revelando que o modelo de Poisson se ajusta melhor aos dados que o modelo binomial negativo (ver Tabela 22 no APÊNDICE C).

Outro problema frequentemente abordado nos estudos que utilizam modelos de contagem está relacionado à incidência elevada de observações em zero (CAMERON; TRIVEDI, 2013). O excesso de zeros pode ser uma preocupação neste estudo, afinal 59,6% dos produtores da amostra não adotaram TAPs (ver Tabela 1). A observação em zero (0) pode ocorrer, principalmente, de duas formas. A primeira está relacionada à decisão genuína do produtor em não adotar TAPs, ou seja, assume-se que o produtor não tem interesse em adotar. Este tipo de zero também é conhecido como “zero verdadeiro”, afinal, dificilmente esse produtor se tornará um adotante. A segunda forma está relacionada ao produtor que possui o interesse em adotar a nova tecnologia, porém, devido a alguma circunstância, não a adota. Tal circunstância pode estar associada, por exemplo, ao *status* econômico do produtor, aos preços das TAPs, que podem impedir a compra dessas tecnologias e/ou a falta de informação do produtor sobre a existência da tecnologia. Esses zeros estão em "estado imperfeito", sugerindo que podem ou não ocorrer.

Quando há uma incidência elevada de observações em zero, indica-se utilizar uma variação do modelo Poisson, denominado de *zero-inflated Poisson* (ZIP). Na regressão ZIP há dois modelos consecutivos: um modelo *logit* binário, que compara não adotantes com adotantes de TAPs, sendo os valores estimados dos coeficientes das variáveis independentes apresentados na parte “*inflated*”; e um segundo modelo, que considera o número de TAPs adotadas por cada produtor, apresentado na parte “Poisson”. Dessa forma um modelo preliminar ZIP foi estimado (ver Tabela 23 do APÊNDICE C). Recomenda-se, após a estimação do modelo ZIP, realizar o teste estatístico *Vuong* para verificar a real necessidade de se utilizar um modelo zero inflado em comparação com os modelos tradicionais (Poisson e binomial negativo). Desta forma, o $P > |z| = 0,0000$ do teste *Vuong* apresentado no modelo preliminar foi estatisticamente significativo, demonstrando que o modelo ZIP é indicado para o presente trabalho.

Com a finalidade de melhorar o nível de explicação, foram retiradas do modelo preliminar as *proxies* relacionadas ao "uso de outras tecnologias". A *proxy* USO_MPB, como já explicado, foi retirada por ter apresentado correlação com LN_ÁREA-COM-CANA. A *proxy* USO_LEGUMINOSA, apesar de ter apresentado significância estatística inferior a 10% no modelo preliminar (ver Tabela 23 no APÊNDICE C),

apresentou sinal inverso ao esperado e prejudicou a estimação de outras variáveis, que possuem maior poder de explicação, como é o caso do crédito, fontes de informação e a percepção do produtor quanto ao aumento de produtividade. Por fim, a variável USO_VARIEDADE-ADAPTADA, quando inserida no modelo preliminar, não apresentou significância estatística. Por estes motivos, tais variáveis foram retiradas do modelo. Conforme sugere Fávero (2015), essas variáveis devem ser retiradas uma a uma, isso porque a exclusão ou inclusão de uma variável pode trazer alterações no nível de significância do conjunto de variáveis explicativas do modelo inicialmente estimado. Neste sentido, testes pós-estimação foram realizados a cada novo modelo estimado, excluindo e incluindo as variáveis, até a obtenção de um modelo que apresentasse melhor nível de explicação.

Como critério de seleção foram utilizados os critérios de informações bayesianas Akaike (AIC) e Schwarz (BIC). A Tabela 24 do APÊNDICE C mostra os resultados dos testes AIC e BIC para o modelo ZIP preliminar e para o modelo ZIP considerado com melhor ajuste. Nota-se que do modelo inicial ao modelo ajustado houve redução tanto nos valores do AIC (295,6774 para 289,0897) quanto nos valores do BIC (376,183 para 368,0944). Sendo assim, o modelo de regressão ZIP ajustado encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Regressão ZIP ajustada

Variável	Poisson		Inflated (logit)	
	Coefficiente	IRR	Coefficiente	OR
INF_CONSULTOR-PARTICULAR	0,5082*	1,6623	-2,3892	0,0917
INF_FORNEC-EQUIP	0,1374	1,1472	-0,7607	0,4674
INF_USINA	0,0076	1,0076	-1,6769*	0,1869
EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	0,0307**	1,0311	-0,0197	0,9805
SUPERIOR_COMPLETO	0,2487	1,2823	-0,6084	0,5442
EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	0,7077**	2,0292	-0,7087	0,4923
LN_ÁREA-COM-CANA	-0,1235	0,8838	-1,6539**	0,1913
OBTEVE CRÉDITO	0,4620*	1,5872	-2,4228	0,0887
DEPENDENCIA_ATIVIDADE	0,9271	2,5271	-0,1867	0,8297
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE	0,5640**	1,7576	-5,0890**	0,0062
PERCEP_AUMENTAR_CUSTO	-0,1332	0,8753	0,9551	2,5990
_const	-0,8955	0,4084	-3,0017	0,0497

Número de observações: 131; Não Zero obs: 53; Zero obs: 78; razão de verossimilhança χ^2 (11): 27,21; Prob>chi2: 0,0043; Log Likelihood -125,5449; Vuong test (Pr> z) 0,0000.

Asterisco (*) indica o nível de significância do coeficiente: * $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$, e; *** $p \leq 0,01$. Quando não apresenta asterisco quer dizer que a significância estatística do coeficiente foi superior a 0,10.

O modelo preditivo ajustado apresentado na Tabela 11 considerou todas as 131 observações sendo, 78 em zero e 53 em não zero. A razão de verossimilhança χ^2 de 27,21,

com 11 graus de liberdade e p-valor próximo de zero, diz que o modelo como um todo se encaixa significativamente melhor do que um modelo sem preditores, mostrando que as variáveis são conjuntamente significantes ao nível de 0,43%.

Onze variáveis explicativas foram utilizadas para identificar os determinantes da intensidade de adoção de TAPs. Os coeficientes estimados, assim como a taxa de incidência (*incidence rate ratios* – IRR) estão apresentadas na parte Poisson na Tabela 11. O IRR é mais intuitivo de interpretar do que os coeficientes e é obtido exponenciando-se os coeficientes de regressão do modelo de contagem, ou seja, $IRR = e^{(coeficiente)}$ (CAMERON; TRIVEDI, 2013). O IRR representa as taxas de incidência na variável dependente, quando se altera em uma unidade a variável explicativa, mantidas as demais variáveis constantes (FÁVERO, 2015). A interpretação pode ser a seguinte: considere a alteração de um ponto na variável explicativa, se o IRR apresentado for maior do que a unidade, o número esperado de TAPs adotadas pelo produtor aumenta; se o IRR apresentado for menor do que a unidade, o número esperado de TAPs adotadas diminui.

A Tabela 11 também apresenta os resultados da regressão do modelo *logit*, indicados como “*inflated*”. Os parâmetros estimados, refletem os efeitos dos preditores sobre as observações em zero (0), isto é, os não adotantes de TAPs. Portanto, o efeito esperado dos preditores sobre o adotante de TAPs tem sinal inverso ao apresentado no modelo. Para facilitar a interpretação foi estimada a razão de probabilidade (*odds ratio*) para cada coeficiente (β). A interpretação da razão de probabilidade (e^β) pode ser feita por meio da fórmula $[(e^\beta - 1) * 100]$, a qual mostra a mudança em pontos percentuais na probabilidade de o produtor não adotar TAPs, em resposta à mudança de uma unidade na variável independente. A interpretação pode ser a seguinte: uma alteração positiva em uma variável independente, com razão de probabilidade maior do que a unidade, aumenta a probabilidade de o produtor ser um não adotante de TAPs; para uma razão de probabilidade menor do que a unidade, diminui a probabilidade de o produtor ser um não adotante. A seguir, apresenta-se as discussões sobre os parâmetros estimados para as duas partes do modelo.

a) Fontes de informação agropecuária

Quatro variáveis foram utilizadas para testar a hipótese de que o acesso a fontes de informação agropecuária afeta positivamente a adoção e a intensidade de adoção de TAPs pelos produtores de cana-de-açúcar: INF_CONSULTOR_PARTICULAR,

INF_FORNEC-EQUIP, INF_USINA e EVENTO_NÚMERO-MÉDIO. A Tabela 11 mostra que a variável INF_USINA apresentou significância estatística inferior a 10% para o modelo *logit*, assim como as variáveis INF_CONSULTOR-PARTICULAR e EVENTO_NÚMERO-MÉDIO para o modelo Poisson. Os sinais refletem o esperado e corroboram com os resultados obtidos na estatística descritiva. A variável INF_FORNEC-EQUIP apresentou impacto positivo tanto na decisão de adoção, quanto na intensidade de adoção, porém, sem efeito estatístico significativo.

Conforme mostra os resultados do modelo *logit*, a variável INF_USINA apresentou relação negativa com a NÃO ADOÇÃO de TAPs (nível 0). O valor do OR pode ser interpretado da seguinte forma: quando o produtor tem acesso à informação agropecuária fornecida pela usina, diminui em 81,31% ($[1-0,1869]*100$) as chances deste mesmo produtor NÃO ser um adotante de TAPs, considerando todas as outras variáveis constantes. Sendo assim, o acesso à informação agropecuária fornecida pelo comprador de cana aumenta as chances de o produtor ser um adotante de TAPs, corroborando com estudos anteriores identificados pela revisão de literatura (BARNES et al., 2019a; LARSON et al., 2008; PIERPAOLI et al., 2013; SEVIER; LEE, 2004; WALTON et al., 2008; WATHCARAANANTAPONG et al., 2014).

A explicação pode vir do fato de a sistematização do plantio ser a TAP adotada pelo maior número de produtores da amostra (52 produtores) e o comprador de cana (usina) ser indicado como o principal agente responsável para auxiliar na adoção (57,7% dos casos). Como destacado por Bell e Pavitt (1993), a mudança técnica do setor agropecuário advém quase que exclusivamente de fornecedores de bens de capital e outros fornecedores de suprimentos de produção. Neste caso, o agente é a usina, que, além de ser compradora de cana-de-açúcar, é também fornecedora de serviços para os produtores, tais como o corte, colheita e transporte, bem como informação tecnológica. Portanto, o acesso aos serviços e à informação agropecuária fornecidos pela usina afeta positivamente a adoção de TAPs.

Se por um lado a usina pode ser considerada uma importante fonte de informação, aumentando as chances do produtor ser um adotante de TAPs; por outro, esta mesma fonte não apresentou significância estatística que pudesse configurá-la como um fator determinante para explicar a intensidade de adoção. No caso do produtor que adota um número maior de TAPs, a informação agropecuária fornecida por consultor técnico particular (INF_CONSULTOR-PARTICULAR) e adquirida em eventos agropecuários

(EVENTO_NÚMERO-MÉDIO) apresentaram maior poder de explicação, com nível de significância estatística de 7% e 2,9%, respectivamente (ver Tabela 11).

Os resultados mostram que a probabilidade de o produtor adotar um maior número de TAPs aumenta a uma taxa média de 1,0311 vezes a cada aumento de uma unidade na variável EVENTO_NÚMERO-MÉDIO, mantendo as demais condições constantes. Esses resultados podem ainda ser confirmados pela análise do efeito marginal condicional, que calcula as diferenças esperadas na variável dependente para cada aumento da variável explicativa, mantendo as demais variáveis constantes. Na Tabela 12 é possível visualizar que cada aumento na variável EVENTO_NÚMERO-MÉDIO, reflete em um aumento esperado de 0,0366 pontos no indicador de intensidade de TAPs. A participação em eventos e cursos técnicos fornece ao produtor o conhecimento sobre as TAPs disponíveis no mercado e os benefícios delas decorrentes. Assim, a informação agropecuária acessada em eventos agropecuários afeta positivamente a intensidade de adoção de TAPs.

Tabela 12 – Efeito marginal condicional da variável EVENTO NÚMERO-MÉDIO

EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	dy/dx	Desvio padrão	z	P> z	Intervalo de confiança de 95%	
		0,0366	0,0163	2,24	0,0250	0,0045

Os resultados apresentados na Tabela 11 também revelaram que a variável INF_CONSULTOR-PARTICULAR afeta positivamente a probabilidade de o produtor adotar um número maior de TAPs a uma taxa média de 1,6623 vezes. O efeito marginal condicional da variável explicativa, apresentado na Tabela 13, mostra que o produtor que indicou ter acesso à informação agropecuária do consultor técnico particular, tem um aumento esperado de 0,4538 pontos no indicador de intensidade de TAPs, quando comparado com o produtor que não possui acesso a esta fonte de informação. De fato, apenas 14,5% dos produtores da amostra possuem consultor técnico particular. Esse valor chega a 26,4% ao considerar apenas os adotantes. Porém, à medida que se analisa os valores mais altos do indicador de intensidade, percebe-se uma presença maior de produtores que contam com este tipo de fonte de informação, chegando a 60% dos produtores que adotaram quatro ou mais TAPs. A explicação pode vir do fato de que algumas TAPs necessitam de um pacote tecnológico e conhecimentos específicos e individualizados para interpretar e realizar recomendações – como por exemplo, a análise do solo georreferenciada e o levantamento de pragas e doenças por imagens. Para estas

tecnologias, os consultores técnicos particulares auxiliaram os produtores em 77,3% e 37,5% dos casos, respectivamente. Assim, o acesso à informação agropecuária fornecida por consultores técnicos particulares afeta positivamente a intensidade de adoção de TAPs.

Tabela 13 – Efeito marginal condicional da variável INF CONSULTOR-PARTICULAR

INF_CONSULTOR-PARTICULAR	dy/dx	Desvio padrão	z	P> z	Intervalo de confiança de 95%	
		0,4538	0,3067	1,68	0,0939	0,1473

b) Capital humano

Duas variáveis foram utilizadas como representativas do capital humano: SUPERIOR_COMPLETO e EXPERIÊNCIA_PRÉVIA. As duas variáveis apresentaram relação esperada com a adoção e intensidade de adoção de TAPs (ver Tabela 11). Entretanto, apenas a experiência prévia, do modelo Poisson, apresentou nível de significância estatística desejado (1,2%). Os resultados revelam que a variável experiência prévia afeta positivamente a probabilidade de o produtor adotar um número maior de TAPs, a uma taxa média de 2,0292 vezes. O efeito marginal condicional da variável explicativa, apresentado na Tabela 14, mostra que os produtores que indicaram ter o conhecimento prévio no uso de TAPs têm um aumento médio esperado de 0,5182 pontos no indicador. Zahra e George (2002) destacam que o conhecimento é cumulativo, o desempenho do aprendizado é maior e o custo marginal de aprendizagem é menor quando o objeto do aprendizado está relacionado com o que já se conhece. Portanto, a experiência prévia do produtor mostrou-se como um fator determinante na decisão de adotar um número maior de TAPs.

Tabela 14 – Efeito marginal condicional da variável EXPERIÊNCIA PRÉVIA

EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	dy/dx	Desvio padrão	z	P> z	Intervalo de confiança de 95%	
		0,5182	0,3254	1,65	0,0990	0,1198

Em muitos estudos o nível de escolaridade tem sido utilizado como *proxy* para identificar a habilidade e a capacidade do produtor em adquirir e processar informações, tomar decisões e adquirir novas tecnologias (DABERKOW; McBRIDE, 2003; FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985; ISGIN et al., 2008; PAUSTIA; THEUVSEN, 2017; SUNDING; ZILBERMAN, 2001). Neste sentido, observa-se na Tabela 11 que a variável SUPERIOR_COMPLETO apresentou efeito positivo esperado tanto na decisão de

adoção, quanto na intensidade de adoção de TAPs, porém, sem efeito estatístico significativo. Desta forma, não é possível configurar a escolaridade como um fator determinante da adoção ou intensidade de adoção de TAPs. Esse resultado corrobora o argumento de Barnes et al. (2019a) de que a variável escolaridade tende a levar a interpretações tendenciosas do conhecimento adquirido ao longo dos anos de estudo. Para o autor, tratando-se de agricultura de precisão, estes conhecimentos deveriam se estender a habilidades de gerenciamento e interpretação de dados e conhecimento de sistemas operacionais mais complexos.

c) Escala de produção

Para testar a hipótese de que o tamanho da propriedade afeta positivamente a adoção e a intensidade de adoção de TAPs pelos produtores de cana-de-açúcar, foi utilizado no modelo a variável LN_ÁREA-COM-CANA. Os resultados apontados na Tabela 11 mostram que a variável apresentou sinal esperado e significativo para a adoção de TAPs; e sinal inverso ao esperado, mas não significativo, para a intensidade de adoção.

O OR apresentado na parte *inflated* do modelo, demonstra que propriedades maiores têm menor probabilidade de pertencer ao nível 0. Assim, o produtor que possui maior área de cana sob gestão tem maior probabilidade de adotar TAPs, corroborando a hipótese de que a adoção destas tecnologias está associada a possíveis efeitos de economias de escala. Para Feder, Just e Zilberman (1985), quando se trata de tecnologias não divisíveis, pode haver um limite crítico no tamanho das propriedades, de forma que propriedades que não atinjam esse tamanho crítico encontram dificuldade para adotar a nova tecnologia. Tal fato contribui ainda para justificar o motivo pelo qual a variável não apresentou significância estatística para intensidade de adoção. De certa forma, os produtores adotantes já atingiram o limite crítico do tamanho da propriedade e, portanto, a escala deixa de ser um fator determinante para a intensidade de adoção de TAPs. A Tabela 15 apresenta a média de área de cana do produtor por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs. É possível observar que os não adotantes (nível 0), possuem a menor média de área (278,7 ha). Ao comparar o nível 0 com qualquer outro nível do indicador percebe-se um aumento nas médias, o que explicaria a escala mínima de produção para a adoção de TAPs.

Tabela 15 – Média de área de cana sob gestão do produtor por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs

Média de área de cana sob gestão do produtor (em ha)	Intensidade de adoção de TAPs						Total	
	0	1	2	3	4	5		6
	278,7	685,9	790,8	1.933,1	415,0	9.100,0	850,0	621,3

d) Acesso a crédito

A obtenção de crédito rural pelo produtor (OBTEVE_CRÉDITO) foi utilizada como *proxy* para acesso a crédito. Os resultados da Tabela 11 mostram um efeito positivo da variável nos dois modelos, porém, estatisticamente significante ao nível de 8,9% apenas para o modelo Poisson. O efeito marginal condicional da variável explicativa, apresentado na Tabela 16, mostra que os produtores que indicaram obter crédito rural têm um aumento esperado de 0,36 pontos no indicador, quando comparados com produtores que indicaram não obter crédito rural. Portanto, o crédito rural mostrou-se como um fator determinante na decisão do produtor adotar um maior número de TAPs.

Tabela 16 – Efeito marginal condicional da variável OBTEVE CRÉDITO

OBTEVE_CRÉDITO	dy/dx	Desvio padrão	z	P> z	Intervalo de confiança de 95%	
		0,3616	0,1703	1,73	0,0836	0,0052

Aparentemente os fatores “tamanho da propriedade” e “acesso a crédito” se complementam. O primeiro supõe que existe um tamanho de propriedade crítico para acomodar os custos com a adoção de TAPs; o segundo aponta para a disponibilidade de capital, em forma de recursos financeiros, que afeta a decisão do produtor em adotar um número maior de tecnologias. A Tabela 17 traz o percentual de produtores que obtiveram crédito rural por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs. Observa-se que 80% dos produtores que estão no nível 3 do indicador obtiveram crédito. Este percentual chega a 100% nos últimos 3 níveis do indicador. Sendo assim, o acesso a crédito rural afeta positivamente a intensidade de adoção de TAPs, corroborando com estudos anteriores identificados pela revisão de literatura (DABERKOW; McBRIDE, 2003; ISGIN et al., 2008).

Tabela 17 – Percentual de produtores que obtiveram crédito rural por nível do indicador de intensidade de adoção de TAPs

Obtenção de crédito (em % de produtores)	Intensidade de adoção de TAPs						
	0 (n=78)	1 (n=13)	2 (n=25)	3 (n=10)	4 (n=2)	5 (n=1)	6 (n=2)
	59,0%	84,6%	60,0%	80,0%	100,0%	100,0%	100,0%

e) Dependência da cana

O percentual de área plantada de cana em relação a área total sob gestão do produtor é uma *proxy* que representa a dependência do produtor com relação a cultura da cana. Os resultados demonstram que a variável (DEPENDENCIA_ATIVIDADE) afeta positivamente a adoção e a intensidade de adoção de TAPs, entretanto não apresentou significância estatística a ponto de configurá-la como um fator determinante.

f) Comportamento do produtor diante de uma nova tecnologia

A percepção de aumentar a produtividade (PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE) foi utilizada para testar o comportamento do produtor diante de uma nova tecnologia. Esta variável é uma declaração do produtor, que reflete sua confiança em relação ao retorno produtivo esperado caso venha adotar TAPs. Conforme mostra a Tabela 11, os resultados do modelo *logit* apresentaram que os agricultores que estão de acordo com a variável teriam menor probabilidade de permanecer como não adotantes (nível 0). O valor do OR pode ser interpretado da seguinte forma: quando o produtor tem a percepção de que com a adoção de TAPs terá um aumento de produtividade, suas chances diminuem em 99,38% ($[1 - 0,0062] * 100$) de permanecer como não adotante de TAPs, considerando todas as outras variáveis constantes. Sendo assim, a percepção de aumento de produtividade aumenta as chances de o produtor ser um adotante de TAPs, corroborando com estudos anteriores identificados pela revisão de literatura (BARNES et al., 2019a; WATCHARAANANTAPONG et al., 2013). A variável PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE também revelou relação positiva e significativa para intensidade de adoção de TAPs a uma taxa média de 1,7576 vezes, mantendo as demais condições constantes. O efeito marginal condicional da variável explicativa, apresentado na Tabela 18, mostra que o produtor que tem a percepção de aumento de produtividade caso venha adotar TAPs, tem um aumento esperado de 0,7767 pontos no indicador de intensidade. Assim, a percepção de aumento de produtividade afeta positivamente a intensidade de adoção de TAPs.

Tabela 18 – Efeito marginal condicional da variável PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE

PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE	dy/dx	Desvio padrão	z	P> z	Intervalo de confiança de 95%	
		0,7767	0,0522	1,52	0,0321	0,2465

Os resultados dos dois modelos apresentaram sinal esperado para a variável percepção do produtor de aumentar os custos de produção caso venha adotar TAPs (PERCEP_AUMENTAR_CUSTO). Entretanto, sem efeito estatístico significativo.

5.3.1 Acurácia do modelo ZIP

Quando se constrói um modelo de regressão é muito importante avaliar seu desempenho. Uma medida de desempenho muito comum é a acurácia do modelo, que representa a proporção de predições “corretas” feitas pelo modelo. Para identificar se as predições “acertaram” (predizer o número de TAPs adotadas igual ao observado) ou “erraram” (predizer o número de TAPs adotadas que difere do observado) é necessário definir um ponto de corte. No APÊNDICE D encontram-se os valores preditos e observados dos números de TAPs adotadas por cada produtor da amostra, bem como os intervalos considerados como ponto de corte.

Considerando que os valores preditos não são inteiros, tomou-se como critério de ajuste um intervalo de 0,5 pontos para mais e para menos sobre o valor observado. Por exemplo, para a observação 1, o valor observado é de 5 TAPs adotadas pelo produtor, considerando um intervalo de 0,5 pontos para mais e para menos temos os valores entre 4,5 e 5,5. O valor predito pelo modelo ZIP sugere que o produtor 1 adota 5,3897 TAPs, ou seja, o valor predito está contido no intervalo considerado do valor observado. Portanto, assumindo-se esse critério, o modelo acertou.

Na Tabela 19 foi construído um resumo da acurácia dos valores preditos no modelo ZIP. Pelo critério estabelecido, a acurácia do modelo foi de 51,9%, ou seja, o modelo estimou o número correto de TAPs adotadas em 67 produtores de um total de 131. Nota-se que, apesar de poucas observações, o modelo conseguiu boas predições nos níveis 5 e 6 do indicador de intensidade de adoção de TAPs. No caso dos produtores NÃO adotantes, o modelo conseguiu estimar corretamente 62% dos casos. Destaca-se também que o modelo demonstra maior dificuldade de predizer corretamente o número de TAPs adotadas nos níveis 2, 3 e 4.

Tabela 19 – Predições corretas do modelo ZIP

Número de TAPs adotadas	Observações	Preditos Corretamente	Percentual de predições corretas
0	78	48	61,5%
1	13	9	69,2%
2	25	6	24,0%
3	10	3	30,0%
4	2	0	0%
5	1	1	100%
6	2	1	50%
Total	131	68	51,9%

6 CONCLUSÕES

Este capítulo está estruturado em três seções. A primeira seção apresenta as conclusões e considerações finais da pesquisa empírica e as duas últimas seções apresentam, respectivamente, as limitações deste estudo e sugestões para pesquisas futuras e algumas propostas para a elaboração de políticas públicas e estratégias privadas.

6.1 Conclusões do estudo

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A cultura tem relevância econômica, social e ambiental para o país. Está presente em mais de 70 mil propriedades rurais, gera emprego, renda e desenvolvimento em cerca de 30% dos municípios brasileiros, e é um importante componente da matriz energética e de biocombustíveis brasileira. Nesse sentido, a adoção de TAPs pode melhorar a eficiência no uso de recursos e aumentar a produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção canavieira. A difusão de TAPs no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil tem crescido, mas sua aplicação ainda é incipiente. Esta tese objetivou identificar e analisar os fatores que afetam a adoção e intensidade de adoção de TAPs por fornecedores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, bem como as barreiras a sua adoção.

Os resultados empíricos mostraram que a principal TAP adotada pelos produtores de cana-de-açúcar entrevistados foi a sistematização do plantio com auxílio de GNSS e imagens, seguida da colheita com piloto automático. A análise de solo georreferenciada, o levantamento de pragas e doenças utilizando imagens e a aplicação de insumos a taxa variada foram práticas menos adotadas. Os adotantes apontaram gargalos para a adoção de TAPs, como a conectividade no campo, a falta de assistência técnica de fornecedores de equipamentos, a falta de mão de obra capacitada e a incompatibilidade da interface de comunicação entre sistemas computacionais de equipamentos agrícolas. Dentre os não adotantes, a principal barreira encontrada para a adoção foi o elevado investimento inicial.

As estatísticas descritivas dos dados primários mostraram que os produtores adotantes utilizam mais de fontes de informação especializadas, a exemplo do consultor técnico particular, fornecedor de máquinas e equipamentos agrícolas e o comprador da cana (usina). Somado a isso, os adotantes participam mais de eventos agropecuários, como palestras técnicas, feiras agropecuárias e dias de campo. O modelo econométrico mostrou que o comprador de cana como tem um papel importante na adoção, atuando como uma importante fonte de informação. A usina foi o principal agente responsável por

auxiliar os produtores na adoção da sistematização do plantio, revelando-a como um importante mecanismo de transmissão de informações sobre a tecnologia. Com relação a intensidade de adoção, o modelo econométrico mostrou o efeito positivo e significativo do consultor técnico particular e da participação do produtor em eventos agropecuários. Portanto os resultados confirmam os argumentos teóricos acerca da importância do acesso à informação para a adoção e intensidade de adoção de uma tecnologia, como proposto pelos modelos epidêmicos.

Embora a idade geralmente apresente correlação positiva com a adoção de tecnologias na agricultura, a presente pesquisa não constatou influência dessa variável na adoção de TAPs. Trata-se de uma amostra de produtores que possuem idade não muito dispersa em torno da média, não sendo possível diferenciar os adotantes dos não adotantes. A estatística descritiva mostrou ainda que produtores adotantes possuem, em média, maior nível de escolaridade que os não adotantes. Entretanto, não foi identificado efeito significativo desta variável no modelo econométrico, seja na adoção, seja na intensidade de adoção de TAPs. A experiência prévia do produtor com atividades relacionadas às TAPs configurou-se como fator determinante na intensidade de adoção de TAPs. Devido ao fato de estas tecnologias serem intensivas em conhecimentos, os produtores que detêm mais informações técnicas e especializadas e experiência sobre elas, sendo, portanto, mais capacitados em seu uso, são mais propensos a adotá-la de forma intensiva.

Os resultados da estatística descritiva e do modelo econométrico mostraram ainda que o tamanho da propriedade impacta positivamente na adoção de TAPs. O impacto do tamanho da propriedade na adoção deve-se, em geral, às economias de escala decorrentes dos custos com equipamentos e de aquisição de informações. Entretanto, a escala de produção não se mostrou estatisticamente significativa para explicar a intensidade de adoção. De fato, observou-se que, na amostra estudada, os adotantes tinham escala que já seria suficientemente grande para aumentar a intensidade de adoção. Por outro lado, o acesso ao crédito mostrou-se como um fator determinante na decisão do produtor adotar um número maior de tecnologias.

O percentual da renda da cana em relação a renda total do produtor, apresentou diferença estatisticamente significativa nos testes de hipótese. Na média, os produtores adotantes de TAPs possuem maior percentual de renda oriunda da cana do que os produtores não adotantes. Entretanto, o modelo econométrico não apresentou resultados

estatisticamente significantes a ponto de configurar a dependência da cana como um fator determinante da adoção ou intensidade de adoção de TAPs.

De forma geral, adotantes de TAPs tendem a adotar também rotação de cultura com leguminosa na renovação do canavial; se preocupam com a escolha de uma variedade de cana que responda bem as condições locais; e possuem cuidado extra na escolha de mudas sadias e/ou MPB.

A expectativa do produtor de que as TAPs aumentam a produtividade teve impacto positivo e significativo na adoção e intensidade de adoção de TAPs. De certa forma, a tomada de decisão para adoção de uma nova prática ou tecnologia é cercada por riscos, mesmo quando os resultados são conhecidos. Assim, a decisão de adotar TAPs foi afetada por sua avaliação subjetiva sobre os potenciais ganhos.

De modo geral, este estudo mostrou que a informação agropecuária disponibilizada pela usina, o tamanho da propriedade, assim como a percepção de aumento de produtividade são fatores determinantes da adoção de TAPs pelos produtores de cana-de-açúcar. Além disso, a informação acessada via consultor técnico particular, a participação em eventos agropecuários, a experiência prévia do produtor, a disponibilidade de crédito e a percepção de aumento de produtividade são fatores determinantes da intensidade de adoção de TAPs. Portanto, o presente trabalho colabora com a escassa literatura, principalmente brasileira, que aborda os fatores determinantes da adoção e de intensidade de adoção de TAPs na agricultura, e mais especificamente na cultura da cana-de-açúcar.

6.2 Limitações da pesquisa e propostas para pesquisas futuras

Este estudo foi realizado a partir de entrevistas com 131 produtores de cana-de-açúcar, distribuídos em 47 municípios, nas regiões geográficas intermediárias de Araraquara, Bauru, Campinas, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto no Estado de São Paulo. Dada a inexistência de um cadastro de adotantes, a seleção dos produtores foi realizada com o auxílio da cooperativa Coplacana. A limitada abrangência geográfica e a dificuldade na seleção dos produtores trouxeram algum prejuízo quanto à aleatoriedade e a capacidade representativa da amostra. Esse prejuízo é menor se considerarmos a amostra como representativa apenas dos produtores dessas regiões. Entretanto, a representatividade é menor quando se considera o Brasil e mesmo o estado de São Paulo.

Uma segunda limitação refere-se ao recorte temporal realizado. As informações obtidas limitaram-se a safra 2018/2019. Esse tipo de coleta permite uma análise estática da situação, não sendo possível, por exemplo, afirmar com exatidão como os recursos dos produtores se construíram e quando os produtores alteraram as estratégias e os processos de produção para adotar um número maior de TAPs. Estas características do estudo limitam a generalização dos resultados e indicam a necessidade de estudos adicionais em outras regiões do país, bem como abordagens que permitam avaliar a adoção ao longo do tempo. Destaca-se também que o estudo foi realizado apenas com produtores fornecedores de cana-de-açúcar. Futuras pesquisas poderiam incorporar as decisões de adoção realizadas por usinas, pois são também grandes produtoras de cana-de-açúcar, além de manterem diversos tipos de governança de suas transações com fornecedores de cana. Estudos com outras culturas, como a soja ou algodão, também poderiam ser realizados com o marco teórico e métodos aqui utilizados.

Os agricultores podem adotar uma ou mais tecnologias e avaliá-las antes de adotar tecnologias adicionais. Assim, a decisão de adotar TAPs poderia ser avaliada à luz de sua complementaridade com outras inovações. Complementaridades criam vantagens competitivas para uma firma, que funcionam como incentivos à adoção. Estudos futuros poderiam avaliar o efeito das sinergias entre as TAPs com outras práticas e tecnologias adotadas pelos produtores de cana-de-açúcar.

6.3 Implicações para políticas públicas e privadas

Um dos principais fatores determinantes da adoção identificados neste estudo foi a escala de produção. A adoção das TAPs está associada à imobilização de capital indivisível (aquisição de máquinas e equipamentos) e outros custos fixos (prestação de serviços, por exemplo). Sugerem-se ações que visem a inclusão dos pequenos produtores rurais. Uma alternativa para o pequeno produtor é o associativismo, permitindo que estes possam, coletivamente, obter economias de escala. Destaca-se que algumas cooperativas fornecem serviços, alugando TAPs por um determinado tempo (por exemplo, piloto automático para tratores) e/ou vendendo pacotes com prestação de serviços (por exemplo, amostragem de solo georreferenciada). Entretanto, os modelos de negócio para a prestação de serviços em AP ainda não estão adaptados aos pequenos produtores rurais. Por exemplo, um dos produtores da amostra relatou que teve interesse em adotar o piloto automático no plantio e buscou informações para alugar tal equipamento. No entanto, o

tempo mínimo de aluguel do equipamento era de um mês, sendo que sua necessidade era de apenas uma semana para realizar o serviço em sua propriedade. O valor mínimo cobrado era elevado e fixo para um mês, o que limitou a adoção.

O acesso a determinadas fontes de informação teve impacto positivo na adoção de TAPs. Os adotantes buscaram informações com a usina, com consultor técnico particular e participaram de um maior número de eventos agropecuários. Estes resultados podem nortear ações para a transferência de tecnologia em AP.

Os resultados mostraram que o crédito rural é um importante fator determinante para intensificação da adoção de TAPs. Embora existam linhas de crédito que contemplam a agricultura de precisão, como é o caso do Inovagro⁷, é necessário ampliar este fomento para a inclusão de maior número de produtores por meio do protagonismo das organizações coletivas de produtores.

A coleta de dados também identificou que a conectividade no campo é um dos principais problemas enfrentados pelos produtores após a adoção de TAPs. De certa forma, esforços têm sido realizados, como, por exemplo, o projeto de lei 172/20, que discorre sobre a destinação de recursos do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST), arrecadado nas cobranças de serviços de telecomunicações. A lei prevê que os recursos, antes usados para a expansão da telefonia urbana, sejam direcionados à conectividade rural, levando acesso à internet ao interior do Brasil. Esta pode ser uma oportunidade para ampliar a conectividade no meio rural por meio de incentivos às empresas de telefonia.

Por fim, os produtores adotantes de TAPs indicaram enfrentar escassez de mão de obra local qualificada, bem como a insatisfatória assistência técnica dos fornecedores de equipamentos. Neste sentido, sugere-se ações de treinamento e capacitação dos profissionais do setor adaptados ao público-alvo: técnico da extensão rural e assistência técnica, funcionários de propriedade rural, etc.

⁷Para mais detalhes sobre o Inovagro consulte <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/inovagro>>. Acesso em fev/2021.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, J.; AHMAD, S.; ISMAIL, I.A. Attitude, knowledge and competency towards precision agricultural practice among paddy farmers. **Pertanika Journal of Social Science and Humanities**, v.20, p. 391-403, 2012
- ADAMCHUK, V. *et al.* An uncertainty-based comprehensive decision support system for site-specific crop management. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 625-629, 2017.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control** 19, p. 716–723, 1979.
- ALLAHYARI, M. S.; MOHAMMADZADEH, M.; NASTIS, S. A. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran. **Information Processing in Agriculture**, v. 3, n. 3, p. 183–189, 2016.
- ALSOS, G. A.; LJUNGGREN, E.; PETTERSEN, L. T. Farm-based entrepreneurs: what triggers the start-up of new business activities? **Journal of Small Business and Enterprise Development**, v. 10, n. 4, p. 435–443, 2003.
- AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAUKA, T.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar em ciclos agrícolas consecutivos após pré-cultivo de espécies adubos verdes. **Revista de Agricultura**, v.89, n.3, p.232-251, 2014.
- AMORIM, F. R.; PATINO, M. T. O.; ABREU, P. H. C.; SANTOS, D. F. L. Avaliação econômica e de risco dos sistemas de aplicação de fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar: taxa fixa por média e taxa variável. **Custos & agronegócio online**, v.15, n. 2, 2019.
- ANOSIKE, N., COUGHENOUR, C. M. The socioeconomic basis of farm enterprise diversification decisions. **Rural Sociology, Auburn**, v. 55, n. 1, 1990, p. 1-24.
- ANTOLINI, L. S. **Condicionantes da adoção de agricultura de precisão por produtores de grãos**. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2015.
- ARROW, K. The Economic Implications of Learning by Doing. **Review of economics studies**, 29, 155-173, 1962.
- AUBERT, A.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. **Decision Support Systems**, v.54, p. 510-520, 2012.
- AUERNHAMMER, H. Precision farming – the environmental challenge. **Computer and Electronics in Agriculture**, v.30, p.31-43, 2001, [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00153-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00153-8).
- BARNES, A.P.; SOTO, I.; EORY, V.; BECK, B.; BALAFOUTIS, A.; SÁNCHEZ, B.; VANGEYTE, J.; FOUNTAS, S.; VAN DER WAL, T.; GÓMEZ-BARBERO, M. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. **Land Use Policy**, v. 80, p. 163-174. January 2019 (a).

BARNES, A. P.; SOTO, I.; EORY, V.; BECK, B.; BALAFOUTIS, A.; SÁNCHEZ, B.; VANGEYTE, J.; FOUTANAS, S.; van der WAL, T.; GÓMEZ-BARBERO, M. Influencing factors and incentives on the intention to adoption precision agricultural technologies within arable farming systems. **Environmental Science and Policy**, v. 93, p. 66-74, 2019 (b).

BARON, R. A.; SHANE, S. A. Empreendedorismo: uma visão do processo. **São Paulo: Thomson Learning**, 2007.

BATCHELOR, W. D.; BASSO, B.; PAZ, J. O. Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. **Europ. J. Agronomy**. V. 18, p.141-158, 2002.

BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da Agricultura de Precisão no Brasil. In BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, p.559-577, 2014.

BERRY, J. **The precision farming primer: GIS Technology and Site-Specific Management in Production Agriculture**. Colorado: Basis, 1999. Disponível em: <<http://www.innovativegis.com/basis/pfprimer/>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

BOCQUET, R.; BROSSARD, O.; SABATIER, M. Complementarities in organizational design and the diffusion of information technologies: An empirical analysis. **Research Policy**, v. 36, p. 367-386, 2007.

BOLFE, E. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I.; COSTA, C. C.; LUCHIARI Jr, A.; VICTÓRIA, D.; INAMASU, R.; GREGO, C.; FERREIRA, V.; RAMIREZ, A. **Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online**. Campinas: Embrapa, 2020. 44 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agropensa/produtos-agropensa>>. Acesso em 09 dez 2020.

BONHAM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Ottawa: **Pergamon**, 397 p. (Computer Methods in the Geosciences, 13), 1994.

BRANDÃO, Z. N. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009. 152 f. **Tese (Doutorado em Recursos Naturais)**-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Boletim Técnico – Agricultura de Precisão**. Brasília, 36 p., 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agenda Estratégica Agricultura de Precisão: 2014-2030**, Brasília-DF, 21 p., 2014.

BELL, M.; PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: Contrasts between developed and developing countries. **Industrial and Corporate Change**, v. 2, n. 1, p. 157-210, 1993.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Regression analysis of count data**. Econometric Society Monographs, 2Ed. Cambridge, University of California, Davis, 2013.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2005.

- COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 128-152, 1990.
- COHEN, Y. et al. Future approaches to facilitate large-scale adoption of thermal based images as key input in the production of dynamic irrigation management zones. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 546-550, 2017.
- COLAÇO, A. F.; BRAMLEY, R. G. V. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? **Field Crops Research**, v.218, p.126-140, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.007>.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: Amostragem Georreferenciada. Agricultura de Precisão, Boletim Técnico 02, LAP, 2015.
- CONCEIÇÃO, J. C. P. R.; ARAÚJO, P. F. C.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. Influência de variáveis representativas de capital humano na adoção de inovações tecnológicas na agricultura brasileira. CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SOCIOLOGIA RURAL, 7., 2006, Quito. **Anais...** Quito: Alasru, 2006.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão sistemática bibliográfica: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produtos**, Porto Alegre – RS, 2011.
- CRUZ, L. E. C.; FILIPPINI, J. M. A; PARFITT, J. M. B.; PILLON, C. N. Estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo em um agrossistema de arroz irrigado para suporte a agricultura de precisão. *In* BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, p.209-216, 2014.
- D'ANTONI, J. M.; MISHRA, A. K.; JOO, H. Farmers' perception of precision technology: The case of autosteer adoption by cotton farmers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 87, p. 121–128, 2012.
- DABERKOW, S. G.; MCBRIDE, W. D. Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. **Precision Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 163–177, 2003.
- DAVID, P. A contribution to the theory of diffusion, Boulder, CO: Westview Press, 1969.
- DAVIES, S.; The diffusion of process innovation. Cambridge University Press, **Cambridge**, 1979.
- DAVIS, F.D. **Technology acceptance model for empirical lytesting new end-user information systems theory and results**. 1986. Tese (Doutorado) — Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Massachusetts,USA, 1986.
- DAVIS, F.D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quart**, v.13, n.3, p.319–340, 1989.
- De MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O. et al. Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da Cana-de-açúcar, **Série Tecn. Boletim Técnico IAC**, Campinas, 2016.
- ERICKSON, B.; LOWENBORG-DEBOER, J.; BRADFORD, J. 2017 Precision Agriculture Dealership Survey. **Departments of agricultural economics and agronomy** – Purdue Univerity, 2017.

ERICKSON, B.; WIDMAR, D. A. Precision Agricultural Services Dealership Survey Results: Sponsored By croplife magazine and the center for food and agricultural business. **West Lafayette, Indiana**: 2015.

EUROPEAN PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICE – EPRS. Precision agriculture and the future of farming in Europe. **Scientific Foresight Study – Science and Technology Options Assessment (STOA)**. 2016, DOI: 10.2861/020809.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **AMIS Statistics**. Disponível em: <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html>. Acesso em: 17/12/2019.

FAR, T. S.; REZAEI-MOGHADDAM, K. Determinants of Iranian agricultural consultants' intentions toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 280-286, 2017.

FAR, T. S.; REZAEI-MOGHADDAM, K. Impacts of the precision agricultural technologies in Iran: An analysis experts' perception & their determinants. **Information processing in agriculture**, v. 5, p. 173-184, 2018.

FÁVERO, L. P. Análise de dados. 1ª ed., **Elsevier**, 2015.

FEDER, G.; UMALI, D. The adoption of agricultural innovations: a review. **Technological forecasting and social change**, v. 43, p. 215-239, 1993.

FEDER, G.; JUST, R. E.; ZILBERMAN, D. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. **Economic Development and Cultural Change**, Chicago, v. 33, n. 2, p. 255-298, 1985.

FERNANDEZ-CORNEJO, J.; BEACH, E. D.; HUANG, W. Y. The adoption of IPM techniques by vegetable growers in Florida, Michigan and Texas. **J. Agr. and Applied Econ.**, v. 26, n.1, p. 158-172, 1994.

FILIPPINI-ALBA, J. M.; WREGGE, M. S.; FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C. Zoning based on climate and soil for planting eucalyptus in Southern Region of Rio Grande do Sul State, Brazil. In: PRADO, H. A.; LUIZ, A. J. B.; CHAIB FILHO, H. (Ed.). **Computational methods for agricultural research: advances and applications**. Hershey: Information Science Reference, 2009. p. 127-143.

FINGER, R.; SWINTON, S. M.; BENNI, N. E.; WALTER, A. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. **Annual Review of Resource Economics**. 11:313-35, 2019. doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929.

FRAISSE, C. Agricultura de Precisão: a tecnologia GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator Gis**, Curitiba, n. 21, p. 28-33, 1998.

FUDENBERG, D.; TIROLE, J. Preemption and rent equalization in the adoption of new technology. **Review of Economics Studies**, v. 52, p. 383-401, 1985.

FURTADO, A. Difusão Tecnológica: um debate superado? IN: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. (Org) **Economia da inovação tecnológica** – São Paulo: Hucitec. Ordem dos Economistas do Brasil, 2006.

GALLIANO, D.; ROUX, P. Organisational motives and spatial effects in Internet adoption and intensity of use: Evidence from French industrial firms. **Annals of Regional Science**, v.42, n.2, p. 425-448, 2008.

- GEROSKI, P. A. Models of technology diffusion. **Research Policy**, v. 29, p. 603-625, 2000.
- GOLLA, W. **Determinants of Drip Irrigation Technology Adoption in Degua woreda, Tigray Region, Ethiopia: Household Level Analysis. Ethiopia: UM. 90p.** Dissertation (Master of Art Degree in Development Studies), Mekelle University, UM, Ethiopia, 2010.
- GOSWAMI, S. B.; SAXENA, M. S. A.; BAIRAGI, G. D. A review: the application of remote sensing, GIS and GPS in agriculture. **International Journal of Advanced Technology and Engineering Research**, v. 2, p. 50-54, 2012.3
- GREENE, W. H. **Econometric analysis**, 5th edn. Prentice Hall, New Jersey, 2003.
- GREENE, W. H. The econometric approach to efficiency analysis. In: The measurement of productive efficiency and productivity growth. Oxford, University Press, New York, p. 92-250, 2008.
- GREGO, R. C.; ARAÚJO, L. S.; VICENTE, L. E.; NOGUEIRA, S. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; VICENTE, A. K.; BRANCALIÃO, S. R.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Agricultura de precisão em cana-de-açúcar. In BERNARD et al. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. Embrapa, Brasília-DF, 2014.
- GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DeBOER, J.; LAMBERT, D. M.; PEONE, J.; PAYNE, T.; DABERKOW, S. G. **Adoption, profitability, and making better use of precision farming data**. Staff paper, (04-06), 2004.
- GRILICHES, Z. An Exploration in the Economics of Technological Change. **Econometrica**, v. 25, n. 4, p. 501-522, 1957.
- HAIR Jr, F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. **Bookman editora**, Porto Alegre, pp.593, 2005.
- HALL, B. H.; Innovation and Diffusion. In: FABERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (eds.). The Oxford Handbook of Innovation. New York: Oxford University Press Inc., 2005. 656p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – Censo Agropecuário de 2017. Acesso em 20/07/2020; disponível em < <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>.
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de Precisão. In BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, p.21-33, 2014.
- INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p.
- INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE – ISPA (2020). Available at < <https://www.ispag.org/>> .
- ISGIN, T.; BILGIC, A.; FOSTER, D. L.; BATTE, M. T. Using count data models to determine the factors affecting farmer's quantity decisions of precision farming technology adoption. **Computers and electronics in agriculture**, v. 62, n. 2, p. 231-242, 2008.

JAMES JR, H. S.; KLEIN, P. G.; SYKUTA, M. E. The adoption, diffusion, and evolution of organizational form: insights from the agrifood sector. **Manegerial and Decision Economics**, v. 32, n. 4, p. 243-259, 2011.

JENKINS, A.; VELANDIA, M.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; MARTIN, S. W. Factors influencing the selection of precision farming information sources by cotton producers. **Agricultural and Resource Economics Review**, v.40, p. 307-320, 2011.

KAARTHUKEYAN, G. M.; SURESH, A. A study on understanding the adoption of water saving technology: a case study of drip irrigation. **International Journal of Recent Technology and Engineering**, v. 7, n. 6, 2019.

KARATAY, Y. N.; AURICH, A. M. Profitability and downside risk implications of site-specific nitrogen management with respect to wheat grain quality. **Precision agriculture**. Published online: 20 June 2019. doi.org/10.1007/s11119-019-09677-3.

KARSENAS, M.; STONEMAN, P. Rank, stock order and epidemic effects in the diffusion of new process technologies: an empirical model. **Rand Journal of Economics**, v. 24, n. 4, p. 503-528, 1993.

KASSIE, M.; JALETA, M.; SHIFERAW, B.; MMBANDO, F.; MEKURIA, M. Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: Evidence from rural Tanzania. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 3, p. 525-540, 2013.

KHANAL, A. R.; MISHRA, A. K.; LAMBERT, D. M.; PADUEL, K. P. Modeling post adoption decision in precision agriculture: A Bayesian approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 466-474, 2019.

KIM, Y.; EVANS, R. G.; IVERSEN, W. M. Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. **IEEE transactions on instrumentation and measurement**, v. 57, n. 7, p. 1379-1387, 2008.

KOGUT, B.; ZANDER, U. Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology. **Organization Science**, v.3 n.3, 383– 397. 1992.

KUTTER, T.; TIEMANN, S.; SIEBERT, R.; FOUNTAS, S. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. **Precision Agriculture**, v.12, p. 2-17, 2011.

LAMBERT, D., LOWENBERG-DEBOER, J. **Precision Agriculture Profitability Review**. Site specific Management Center School of Agriculture, 2000, Purdue University.

LARSON, J. A.; ROBERTS, R. K.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARRA, M. C.; MARTIN, S. W.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Factors affecting farmer adoption of remotely sensed imagery for precision management in cotton production. **Precision Agriculture**, v. 9, n. 4, p. 195–208, 2008.

LINSLEY, C. M.; BAUER, F. C. Illinois Agricultural Experiment Station, **Circular 346**, 1929.

LUTMAN, P. J. E.; PERRY, N. H. Methods of weed patch detection in cereal crops. In: The 1999 Brighton Conference – Weeds. Brighton, **Proceedings**, p. 627-634, 1999.

MANSFIELD, E. Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*: **Journal of the Econometric Society**, p. 741-766, 1961.

- MILGRON, P.; ROBERTS, J. The economics of modern manufacturing: technology, strategy, and organization. **The American Economic Review**, v. 80, n. 3, p. 511-528, 1990.
- MILLER, N. J.; GRIFFIN, T. W.; CIAMPITTI, I. A.; SHARDA, A. Farm adoption of embodied knowledge and information intensive precision agriculture technology bundles. **Precision agriculture**, 20(2), 348-361, 2018.
- MIZUMOTO, F. M. **Strategy and entrepreneurial action in family business: the analysis of human capital and social capital**. 2009. 133 f. Tese (Doutorado)—Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de textos, 238 p., 2015.
- MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 1, Piracicaba, 2004. **Anais.... ESALQ/USP – ConBAP**, p. 1-10, 2004.
- MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: número do mercado brasileiro. **Agricultura de Precisão**, Boletim Técnico 03, LAP, 2017.
- MONTE, E. Z.; TEIXEIRA, E. C. Determinantes da adoção da tecnologia de despolpamento na cafeicultura. **Revista de Economia Rural**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 201-217, 2006.
- MOONEY, D. F., ROBERTS, R. K., ENGLISH, B. C., LAMBERT, D. M., LARSON, J. A., VELANDIA, M., et al. (2010). **Precision farming by cotton producers in twelve southern states: Results from the 2009 southern cotton precision farming survey**. Research Report 10-02. Department of Agricultural and Resource Economics, The University of Tennessee, Knoxville.
- MUKHERJEE, S. C.; RYAN, L. Factors influencing early battery electric vehicle adoption in Ireland. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.118, in press, 2020.
- MUELLER, L. et al. Assessing the productivity function of soils: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, p. 601-604, 2010.
- NARDO, L. A. S.; PAIXÃO, C. S. S.; GONZAGA, A. R.; OLIVEIRA, L. P.; VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P. Software Optimisation for Mechanised Sugarcane Planting Scenarios to Aid in Decision-Making. **Sugar Tech**, 2020, doi.org/10.1007/s12355-020-00868-1.
- NELSON, R.; WINTER, S. An evolutionary theory of economic change. **Cambridge, Harvard University Press**, 1982.
- OLIVEIRA, F. E. M. Estatística e probabilidade com ênfase em exercícios resolvidos e propostos. – 3. ed. – Rio de Janeiro : LTC, 2017.
- OLIVEIRA, L.A.A.; VIANA, A.R.; RIBAS FILHO, S.B. Efeito da rotação com soja na cultura da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: PESAGRO-RIO, 1997. 4p. (**PESAGRO-RIO. Comunicado Técnico**, 239).
- ORGANIZAÇÃO DE ASSOCIAÇÕES DE PRODUTORES DE CANA DO BRASIL – ORPLANA. **Perfil segmentado do produtor de cana: safra 2018/2019**. Disponível em: <<http://www.orplana.com.br/prog-segmenta>>. Acesso em: 09 dez. 2020.

ORGANISATION FOR COOPERATION ECONOMIC AND DEVELOPMENT. OECD. **Oslo Manual 1997: Guidelines for collecting and interpreting technological innovation data**. 2^a ed. 1997.

ORGANISATION FOR COOPERATION ECONOMIC AND DEVELOPMENT – OECD - **Oslo Manual 2005: Guidelines for collecting and interpreting innovation data**. 3^a ed. 2005.

ORGANISATION FOR COOPERATION ECONOMIC AND DEVELOPMENT – OECD – **Oslo Manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation**. 4^a ed. 2018.

PARK, T. A.; LOHR, L. Organic pest management decisions: a systems approach to technology adoption. **Agricultural Economics**, v. 33, p. 467-478, 2005.

PATHAK, H. S.; BROWN, P.; BEST, T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. **Precision agriculture**. Published online: 28 march 2019. doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x.

PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; WANG, W.; YEOH, Y. K.; HALPIN, N. Legume crop rotation suppressed nitrifying microbial community in a sugarcane cropping soil. **Sci Rep**, n. 7, 16707, 2017.

PAUSTIAN, M.; THEUVSEN, L. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. **Precision Agriculture**, p. 1-16, 2016.

PAXTON, K. W.; MISHRA, A. K.; CHINTAWAR, S.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LAMBERT, D. M.; MARRA, M. C.; LARKIN, S. L.; REEVES, J. L.; MARTIN, S. W. Intensity of precision agriculture technology adoption by cotton producers. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 40, n. 1, p. 133–144, 2011.

PENTINA, I.; KOH, A. C.; LE, T. T. Adoption of social networks marketing by SMEs: Exploring the role of social influences and experience in technology acceptance. **International Journal of Internet Marketing and Adverting**, v. 7, n. 1, pp. 65-82, 2012.

PIERPAOLI, E.; CARLI, G.; PIGNATTI, E.; CANAVARI, M. Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. **6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT (HAICTA 2013)**, v.8, p. 61-69, 2013

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. Distutindo Agricultura de Precisão – Aspectos Gerais. **Documentos Online**, EMBRAPA - MAPA, v. 42, 2004.

POPP, J.; GRIFFIN, T.; PENDERGRASS, E. How cooperation may lead to consensus assessing the realities and perceptions of precision farming in your state. **The Journal of the ASFMRA**, 2002.

REINGANUM, J.; On the diffusion of new technology: a game theoretic approach. **Review of Economic Studies**, v. 48, p. 395-405, 1981.

REZAEI-MOGHADDAM, K.; SALEHI, S. Agricultural specialists' intention toward precision agriculture technologies: Integrating innovation characteristics to technology acceptance model. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p. 1191-1199, 2010.

- ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 5 ed. New York: Free Press, 2003.
- ROSSI, F. **Determinantes da adoção de irrigação por citricultores da região centro-norte do Estado de São Paulo**. Tese (doutorado) apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (2017). Departamento de Engenharia de Produção – São Carlos, 2017
- ROSSI, F. R.; SOUZA FILHO, H. M.; CARRER, M. J. Irrigation adoption by orange producers of the state of São Paulo-Brazil: determinants and barriers. In: Annual Meeting of the Southern Agricultural Economics Association, 2016. **Proceedings...** San Antonio, Texas, USA: SAEA, 2016.
- RUBAS, D. J.; MJELDE, J. W.; LOVE, A.; ROSENTHAL, W. How adoption rates, timing, and ceilings affect the value of ENSO-based climate forecast. **Climatic Change**, v. 86, p. 235-256, 2008.
- SANTI, A. L. et al. Agricultura de precisão no manejo de pragas na cultura da soja no sul do Brasil. In BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, 596 p., 2014.
- SCHUMPETER, J. A. **Business Cycles**: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process. New York: McGraw-Hill, 1939.
- SCHUMPETER, J. A. **A teoria do desenvolvimento econômico**. 3 ed. São Paulo: Nova Cultural, 1988.
- SCUDIERO, E. *et al.* Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. **Computers and electronics in agriculture**, v. 99, p. 54-64, 2013.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR/AR-GO. Curso de Cultivo e Produção de Cana de Açúcar. **EAD SENAR – GO**. 2018.
- SEVIER, B. J.; LEE, W. S. Precision Agriculture in Citrus : A Probit Model Analysis for Technology Adoption. ASAE/CSAE Annual International Meeting. **Anais...**2004
- SHIRATSUCHI, L. S. Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão. **Dissertação (mestrado)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, p. 96, 2001.
- SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, 596 p., 2014.
- SHOCK, C. C.; WANG, F. Soil Water Tension, a Powerful Measurement for Productivity and Stewardship. **HORTSCIENCE**, v. 42, n. 2, p. 178–185, 2011.
- SILVA, C. O. **Geoprocessamento aplicado ao zoneamento agrícola para cana-de-açúcar irrigada do estado do Piauí**. 2016, 72f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrômicas, Botucatu, 2016.
- SILVA, C. B.; MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 67-81, 2011.

SILVA, C. B.; DO VALE, S. M. L. R. Viabilidade Econômica da Agricultura de Precisão: Um Estudo de Caso. XLV Congresso da SOBER - Conhecimentos para Agricultura do Futuro. **Anais...Lonrina**: 2007

SILVEIRA, L. C. I.; BARBOSA, M. H. P.; OLIVEIRA, M. W. Manejo de variedades de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 217, p. 25-32, 2002.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Rev Bras Ciência do Solo**, v.38, p.135–146, 2014. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832014000100013>.

SOUZA FILHO, H. M.; BUAINAIN, A. M.; SILVEIRA, J. M. J.; VINHOLIS, M. M. B. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.28, n.1, p. 228-255, 2011.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. **Journal of agricultural engineering research**, n 76, p. 267-275, 2000.

STONEMAN, P.; Intra-firm diffusion Bayesian learning and profitability. **Economic Journal**, v. 91, p. 375-388, 1981.

SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. In: GARDNER, B; RAUSSER, G. C. (Eds.) **Handbook of agricultural economics**, Amsterdam: Elsevier, p. 207-261, 2001.

TAMIRAT, T. W.; PEDERSEN, S. M.; LIND, K. M. Farm and operator characteristics affecting adoption of precision agriculture in Denmark and Gemany. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science**, v 68, n 4, p.349-357, 2018.

TORBETT, J. C.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B.C. Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production. **Precision Agriculture**, v.8, p. 127-137, 2007.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2018/2019**. Acesso em 13/01/2020. Disponível em: <http://unicadata.com.br>

VAEZI, L; DARAN, H. H. Evaluation of the Effective Parameters on Pressurized Irrigation System by Iranian Farmers. **Middle-East Journal of Scientific Research**, vol.11, n.1, pp. 39- 45, 2012.

VENKATESH, V.; DAVIS, F. D. A model of the antecedents of perceived ease of use development and test. **Decision Sci.** V. 27, n. 3, p. 451-481, 1996

VINHOLIS, M. M. B. **Fatores determinantes da adoção da certificação SISBOV/TRACES na pecuária de corte do estado de São Paulo**. 2013. 234 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

WALTON, J. C. LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARTIN, S. W.; MARRA, M. C.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Adoption and Abandonment of Precision Soil Sampling in Cotton Production. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 33, n. 3, p. 428–448, 2008.

WALTON, J. C.; LARSON, J. A.; ROBERTS, R. K.; LAMBERT, D. M.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARRA, M. C; MARTIN, S. W.; PAXTON, K. W.; REEVES, J.

- M. Factors influencing farmer adoption of portable computers for site-specific management: A case study for cotton production. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, V. 42, n. 2, p.193-209, 2010 (a).
- WALTON, J. C.; ROBERTS, R. K.; LAMBERT, D. M.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARTIN, S. W.; MARRA, M. C.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Grid soil sampling adoption and abandonment in cotton production. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 135–147, 2010 (b).
- WANG, D.; PRATO, T.; QIU, Z. KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields. **Precision Agriculture**, v.4, p.35-52, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1021858921307>.
- WANG, Y.; LIU, Y. Benefits of precision agriculture application for winter wheat in central China. **7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics)**. IEEE, 2018. p. 1-4.
- WATCHARAANANTAPONG, P; ROBERTS, R. K.; LAMBERT, D. M.; LARSON, J. A.; VALENDIA, M.; ENGLISH, B. C.; REJEUS, R. M.; WANG, C. Timing of precision agriculture technology adoption in US cotton production. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 4, p. 427–446, 2013.
- WILSON, P. N. First-order economizing: Irrigation technology adoption and the farm. **Agrekon**, vol.40, n.2, pp. 231-248, 2001.
- ZAHRA, S. A.; GEORGE, G. Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. **Academy of management review**, 27(2), 185-203, 2002.
- ZHANG, Qin (Ed.). **Precision agriculture technology for crop farming**. CRC Press, 2015.
- ZHANG, S.; SUN, Z.; MA, W.; VALENTINOV, V. The effect of cooperative membership on agricultural technology adoption in Sichuan, China. **China Economic Review**, in press, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.101334>.

APÊNDICE A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – DEP QUESTIONÁRIO ADOÇÃO DE AP NA PRODUÇÃO DE CANA-DE- AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

A presente pesquisa pretende identificar os fatores determinantes da adoção de Tecnologias de Agricultura de Precisão (TAPs). A pessoa a ser entrevistada deve ser necessariamente o responsável pelas decisões estratégicas da empresa.

IDENTIFICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

1. Número do questionário (_____)
2. Data da entrevista (_____)
3. Nome do entrevistado: _____

A- CARACTERÍSTICAS DO PRODUTOR/GESTOR DA PROPRIEDADE Conhecimento formal

4. Há quanto tempo o senhor trabalha na agricultura? (_____)
5. Há quanto tempo o sr. trabalha com cana-de-açúcar? (_____)
6. Tem experiência anterior com atividades de AP em usina ou outra empresa ?
(_____) 1-Sim; 2-Não

B- CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Uso da terra e distribuição

7. **Área de terra total sob gestão em hectare (ha) (em terra própria e de terceiros). (Total, inclui cana, reserva legal outros cultivos, benfeitorias).**
 - a. No estado de São Paulo: _____
 - b. Fora do estado de São Paulo: _____
 - c. TOTAL (a+b): _____
 - d. Número de propriedades próprias em SP: _____
 - e. Numero de propriedades arrendadas em SP: _____
 - f. Área total com cana no estado de SP (ha): _____
 - g. Área em que plantou cana em 2018 (ha): _____
 - h. Produtividade média do canavial em 2018 (t/ha): _____
 - i. Idade média do canavial em 2018 (Nº de cortes): _____

Informe o valor pago pelas operações agrícolas realizadas na cana-de-açúcar em 2018 no estado de São Paulo.

Operações	8. Realizada pelo produtor? 1-Sim, totalmente; 2-Sim, parcialmente; 3-Não	9. Realizada por terceiros (não usina)? R.\$ (pago/descontado)	10. Realizado pelo Comprador (usina) ? R.\$ (pago/descontado)
a) Preparo de solo (gradagem, subsolagem, correção).			
b) Plantio (sulcagem e plantio)			
c) Adubação			
d) Controle de pragas (daninhas, doenças, insetos)			
e) CCT			
f) Total			

OBS. Quando marcar "Sim, parcialmente" na primeira coluna, especificar qual o serviço é terceirizado.

11. Rotação de cultura na reforma do canavial:
 - a) Não faz rotação
 - b) Faz rotação sem ser com leguminosa
 - c) Faz rotação com leguminosa
12. Como escolhe a variedade:
 - a) Usa o que já tem na propriedade
 - b) Olha no catálogo e escolhe a variedade adaptada às condições de solo e clima da fazenda ou o técnico faz a recomendação
13. Como escolhe a muda:
 - a) usa muda sem análise (fazenda ou vizinho)
 - b) usa muda com análise (ex. raquitismo)
 - c) usa MPB (muda pré-brotada)

14. Como planeja o plantio:

- a) plantio sem sistematização da área (apenas curva em nível)
 b) plantio com sistematização sem GPS/RTK
 c) plantio com sistematização com GPS/RTK – Sem imagem aérea
 d) plantio com sistematização com GPS/RTK– Com imagem aérea

Questões para quem utilizou imagem de satélite/drone para sistematização. Para os demais ir para questão 19

	15. De quem é o equipamento para imagem?	16. Quem coletou os dados:	17. Quem analisou os dados:	18. Ano que utilizou pela 1ª vez?
1 – Produtor				
2 - Prestador de serviço				
3- Cooperativa/ associação				
4- Usina				
19. Motivo para não utilizar				

20. Possui máquinas com piloto automático e tela guia (barra de luz):

- a) Não possui
 b) Sim, mas não utilizo
 c) Sim e utilizo
 d) Alugo para minhas máquinas e utilizo
 e) Prestador de serviço tem e utiliza

21. Qual a frequência de análise de solo:

- a) Não faz análise de solo (pule para 27)
 b) Faz análise no plantio ou reforma do canal
 c) Faz análise anual ou a cada 2 anos

22. Georreferenciamento da amostra de solo:

- a) Faz análise de solo sem georreferenciar (ir para 27)
 b) Faz análise de solo georreferenciada (ir para 23)

Questões para quem fez amostragem de solo georreferenciada. Para os demais ir para questão 27

	23. De quem é o equipamento para o georreferenciamento?	24. Quem coletou os dados:	25. Quem analisou os dados:	26. Ano que utilizou pela 1ª vez?
1 – Produtor				
2 - Prestador de serviço				
3- Cooperativa/ associação				
4 - Usina				
27. Motivo para não utilizar				

28. Qual a frequência de aplicação de corretivo (gesso/calcário):

- a) não aplico corretivo
 b) aplica corretivo apenas no plantio
 c) aplica corretivo anualmente ou a cada dois anos

29. Como realiza o levantamento de pragas:

- a) não faz levantamento de pragas
 b) faz levantamento de modo visual
 c) faz levantamento com procedimentos (utiliza armadilhas, etc)
 d) faz levantamento por imagem satélite/drone

Questões para quem utilizou imagem satélite/drone (d) para levantamento de pragas. Para os demais ir para questão 34

	30. De quem é o equipamento para imagem?	31. Quem coletou os dados:	32. Quem analisou os dados:	33. Ano que utilizou pela 1ª vez?
1 - Produtor				
2 - Prestador de serviço				
3- Cooperativa/ associação				
4- Usina				
34. Motivo para não utilizar				

35. Como realiza a colheita (% da área colhida) :

- a) Colheita manual
 b) Colheita mecanizada sem a utilização de GPS
 c) Colheita mecanizada com a utilização de GPS

36. Pisoteio na colheita:

- a) As máquinas usadas na colheita pisoteiam o canavial (bitola não é adequada ao espaçamento de plantio)
 b) As máquinas usadas na colheita não pisoteiam o canavial (bitola é adequada ao espaçamento de plantio).

37. Aplicação a taxa variável:

- a) Não faz aplicação de corretivo, adubo ou defensivo a taxa variável (ir para 44).
 b) Faz aplicação de corretivo, adubo ou defensivo a taxa variável.

38. a) Qual operação: _____

b) Percentagem da área: _____

Questões para quem fez aplicação a taxa variada (b). Para os demais ir para questão 44	39. De quem é o equipamento para aplicação variada?	40. A aplicação realizada foi por equipe:	41. Ano que utilizou pela 1ª vez?
1 - Próprio(a)			
2 - Prestador de serviço			42. Tamanho médio do grid/talhão (Ha) _____
3- Cooperativa/ associação			43. Nº de amostras por ha _____
4- Usina			
44. Motivo para não utilizar			

Avalie a sua percepção quanto as TAPs, antes e após a adoção.

No caso de não adotantes preencher apenas a coluna antes.

Indique a sua avaliação a respeito das TAPs, em relação a:

Mudança em:	a. Antes 1 Diminuiria 2 Não mudaria 3 Aumentaria	b. Depois 1 - Diminuiu 2 Não mudou 3 Aumentou
45. Produtividade		
46. Custo de produção		
47. Preço de venda da produção		
48. Investimento em máquinas e equipamentos		
49. Uso de combustível		
50. Frequência de análises de solo		
51. Uso de corretivos, fertilizantes e defensivos(kg/ha)		
52. Mão de obra.		
53. Capacitação/treinamento da mão de obra		
54. Contratação de serviços de terceiros relacionados à AP)		
55. Outros (indicar)		

Se tiver dados do que mudou, anotar: _____

Problemas enfrentados com a adoção de TAPs

(Não adotantes ir para 57)

56. O Senhor enfrentou alguma dificuldade para a adoção de AP	1 - Sim 2 - Não
a. Dificuldade de encontrar mão-de-obra capacitada para trabalhar com AP em sua propriedade	()
b. Incompatibilidade de programas, ou seja, utilizou ou utiliza o software de diferentes empresas que "não se conversam"	()
c. Falta de assistência do fornecedor do equipamento	()
d. Problemas com conectividade no campo	
e. Outros problemas	()

Quantidade utilizada e gasto com insumos na produção de cana-de-açúcar em 2018.

Fatores de produção		57. Quantidade utilizada/unidade	58. Valor gasto
a) Funcionários Permanentes na cana de açúcar (n°)	Safra		
	Ano todo		
b) Diárias contratadas em 2018 (n°)	Plantio		
	Soqueira		
c) Corretivos	Plantio		
	Soqueira		
d) Adubos	Plantio		
	Soqueira		
e) Defensivos (valor gasto com herbicidas, inseticidas, pesticidas).	Plantio		
	Soqueira		
f) Oleo diesel			
g) Tratores (n°)			
h) Outros insumos	i) Plantio		
	j) Soqueira		
k) Total		*****	

Ferramentas de Gestão

59. Adota algum tipo de software (sistema informatizado) para auxiliar na gestão da sua propriedade: 1- Sim; 2- Não ()
60. Adota algum tipo de Aplicativo de dispositivo móvel (celular) para auxiliar na gestão/organização das atividades ou tomada de decisão na sua propriedade: 1- Sim; 2- Não ()
61. Quantos? _____

Informações sobre o comprador

62. Quem foi seu principal comprador de cana em 2018: ()
1 – Indústria (Usina); 2 – Outro produtor (mudas); 3- Outros _____

Estruturas de governança

Considerando toda a área de cana colhida em 2018, no estado de São Paulo, como o vendeu a cana?

	63. % da área:	64. Como foi estabelecido o preço? 1- Consecana 2-Não Consecana 3Consecana+bonificação 4- Consecana - colheita 5 - ATR fixo 6 Outro
a) Sem contrato		
b) Com contrato de 1 ano		
c) Com contrato de 2 a 5 anos		
d) Contrato acima de 5 anos		
e) Total	100%	

(OBS. Tentar anotar a bonificação, valor da ATR fixa, colheita, etc).

65. Distância média até a usina (km): _____
66. Topografia predominante do solo (em % da área)
- a) () Plano a Suavemente plano (<8% declividade)
- b) () Ondulado (8% a 12% declividade)
- c) () Declivoso (> 12% declividade)

C- CAPACITAÇÃO, INFORMAÇÃO E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Quais as PRINCIPAIS fontes de informação agropecuária.

	67. Fonte relevante? 1 – Sim 2 - Não	68. Nº de visitas no último ano/ Nº de grupos (rede social)?	69. Este serviço trouxe informações sobre AP. 1 – Sim 2 - Não
a. Extensão rural governamental	()	()	()
b. Consultor técnico de associação/ cooperativa	()	()	()
Pontos que poderia melhorar:			
c. Consultor técnico particular	()	()	()
d. Fornecedor de máquinas e equipamentos (não cooperativa/associação)	()	()	()
e. Fornecedor de adubos e defensivos (não cooperativa/associação)	()	()	()
f. Comprador de cana (não cooperativa)	()	()	()
g. Outros produtores	()	_____	()
h. Internet (sites especializados)	()	_____	()
i. Redes sociais especializadas (ex. WhatsApp)	()	()	()
j. Revistas de conteúdo especializado	()	_____	()
k. Programas especializados de TV	()	_____	()

70. Participação do produtor/administrador em eventos agropecuários

Evento	Participações
No último ano, participou de quantos(as):	
a. Palestras técnicas	()
b. Dias de Campo	()
c. Feiras agropecuárias	()
d. Reuniões/assembleias de cooperativa/associação	()
Nos últimos 3 anos, participou de quantos:	
e. Cursos a distância	()
f. Cursos presenciais (pelo menos 1 dia de duração)	()
g. Outros (especificar)	()

Crédito rural

71. Procurou por crédito rural (custeio, investimento, comercialização) nas últimas 3 safras? () 1-Sim, 2-Não (ir para Características do produtor)

72. Em qual fonte procurou por crédito ()

1 - Banco do Brasil	2 - Cooperativa / Associação
3 - Outro banco público	4 - Outro banco privado

73. Obteve crédito rural (custeio, investimento, comercialização) nas últimas 3 safras? () 1-Sim, 2-Não (ir para Características do produtor)

74. Qual o volume de crédito obtido nas 3 últimas safras para atender as necessidades de financiamentos da produção de cana: ()

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTOR/GESTOR

75. Qual a idade do produtor/gestor? ()

76. Anos de escolaridade do produtor/gestor? ()

0-Sem instrução	5-5ª série fundamental	10-2ª série médio
1-1ª série fundamental	6-6ª série fundamental	11-3ª série médio
2-2ª série fundamental	7-7ª série fundamental	12-Superior incompleto
3-3ª série fundamental	8-8ª série fundamental	13-Superior completo
4-4ª série fundamental	9-1ª série médio	14- Pós-graduação

Renda

77. Possui outra fonte de renda, além da agropecuária? () 1-Sim, 2-Não

78. A receita da cana-de-açúcar representa quanto (em %) de sua renda total? ()

APÊNDICE B

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
INF CONSULTOR-PARTICULAR	A	1															
INF FORNEC-EQUIP	B	0,1430	1														
INF_USINA	C	-0,0066	0,2130	1													
EVENTO_NÚMERO-MÉDIO	D	-0,0166	-0,0035	-0,0137	1												
SUPERIOR_COMPLETO	E	0,2120	0,0924	0,0806	0,2620	1											
EXPERIÊNCIA_PRÉVIA	F	0,0947	0,0268	-0,0219	0,0799	0,0543	1										
LN_ÁREA-COM-CANA	G	0,3360	0,3390	0,0998	0,3240	0,3620	0,1720	1									
OBTEVE CRÉDITO	H	-0,0149	0,0985	0,0507	0,1420	-0,0863	0,0673	0,2760	1								
VOLUME CRÉDITO	I	0,0856	0,1870	-0,1200	0,2080	0,2020	0,0619	0,4730	0,3010	1							
RENDA_CANA(%)	J	-0,0254	-0,0700	0,1520	0,1980	0,2490	-0,1830	0,1690	0,0491	-0,1120	1						
DEPENDENCIA_ATIVIDADE	K	-0,0201	0,2130	0,1550	0,1430	0,1830	0,0236	0,2960	0,0916	0,1130	0,4360	1					
USO_LEGUMINOSA	L	0,1460	0,2720	0,0212	0,1700	0,3360	0,0617	0,2860	0,0525	0,2050	-0,0516	0,1060	1				
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	M	0,0691	0,0031	0,0309	0,2010	0,3200	0,1430	0,1990	0,0118	0,1040	0,1330	0,1780	0,3290	1			
USO_MPB	N	0,2420	0,1940	0,2260	0,2120	0,2490	0,1750	0,4820	0,1390	0,1910	0,1280	0,2050	0,2530	0,2390	1		
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDAD	O	-0,0668	0,0349	0,0726	0,0670	-0,0514	-0,1070	-0,1240	-0,1260	-0,1640	0,0710	-0,1480	0,0982	0,0324	-0,1830	1	
PERCEP_AUMENTAR_CUSTO	P	0,1310	-0,0736	-0,0346	-0,0292	-0,2210	-0,0360	-0,2120	0,0247	-0,1020	-0,0595	-0,1130	-0,1580	-0,1470	-0,1750	-0,0266	1

APÊNDICE C

Tabela 20 – Modelo Poisson

Variável	IRR	Coefficiente	p> Z
INF CONSULTOR-PARTICULAR	2,0054	0,6959	0,1074
INF_FORNEC-EQUIP	1,0768	0,0740	0,7140
INF_USINA	1,5130	0,4141	0,1936
EVENTO NÚMERO-MÉDIO	1,0322	0,0317	0,0070
SUPERIOR_COMPLETO	1,0890	0,0853	0,7070
EXPERIÊNCIA PRÉVIA	1,4610	0,3791	0,1430
LN ÁREA-COM-CANA	1,2262	0,2039	0,0230
OBTEVE CRÉDITO	1,3350	0,2889	0,2220
DEPENDENCIA ATIVIDADE	2,6182	0,9625	0,0640
USO LEGUMINOSA	1,5851	0,4606	0,0290
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	1,2152	0,1949	0,6500
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE	1,0426	0,0417	0,8610
PERCEP_AUMENTAR_CUSTO	0,7139	-0,3370	0,1230
const	0,0347	-3,3604	0,0000

Número de observações: 131; LR Chi2(13): 92,57; Prob>chi2: 0,0000; Log Likelihood -143,59672.

Tabela 21 – Teste de *Pearson goodness-of-fit* do modelo poisson

Deviance goodness-of-fit	148,6055
Prob > chi2(117)	0,2570
Pearson goodness-of-fit	179,5530
Prob > chi2(117)	0,2000

Tabela 22 – Modelo Binomial Negativo com *likelihood-ratio test* alpha=0

Variável	IRR	Coefficiente	p> Z
INF CONSULTOR-PARTICULAR	2,0053	0,6958	0,1236
INF_FORNEC-EQUIP	1,0768	0,0740	0,7140
INF_USINA	1,5130	0,4141	0,1936
EVENTO NÚMERO-MÉDIO	1,0322	0,0317	0,0070
SUPERIOR_COMPLETO	1,0890	0,0853	0,7070
EXPERIÊNCIA PRÉVIA	1,4610	0,3791	0,1430
LN ÁREA-COM-CANA	1,2262	0,2039	0,0230
OBTEVE CRÉDITO	1,3350	0,2889	0,2220
DEPENDENCIA ATIVIDADE	2,6181	0,9624	0,0640
USO LEGUMINOSA	1,5851	0,4606	0,0290
USO_VARIEDADE-ADAPTADA	1,2152	0,1949	0,6500
PERCEP_AUMENTAR_PRODUTIVIDADE	1,0426	0,0417	0,8610
PERCEP_AUMENTAR_CUSTO	0,7139	-0,3370	0,1230
const	0,0347	-3,3603	0,0000
likelihood-ratio test alpha			0,5000

Número de observações: 131; LR Chi2(13): 55,46; Prob>chi2: 0,0000; Log Likelihood -143,59673.

Tabela 23 – Modelo ZIP preliminar

	Poisson					
	Intensidade			Zero-inflated		
	Coefficiente	IRR	p> Z	Coefficiente	OR	p> Z
INF CONSULTOR-PARTICULAR	0,4172	1,5177	0,1130	-8,2429	0,0003	0,9000
INF FORNEC-EQUIP	-0,1643	0,8484	0,4550	-1,3434	0,2610	0,4040
INF USINA	0,1536	1,1660	0,5030	-2,6264	0,0723	0,1074
EVENTO NÚMERO-MÉDIO	0,0290	1,0295	0,0380	0,1200	1,1275	0,3310
SUPERIOR COMPLETO	0,3584	1,4311	0,1550	1,7016	5,4829	0,4900
EXPERIÊNCIA PRÉVIA	0,7487	2,1143	0,0080	5,9455	382,0192	0,2060
LN ÁREA-COM-CANA	-0,0886	0,9152	0,4030	-6,9957	0,0009	0,0450
OBTEVE CRÉDITO	0,5057	1,6581	0,2040	2,8786	17,7902	0,1236
DEPENDÊNCIA ATIVIDADE	0,7503	2,1176	0,1780	-9,3422	0,0001	0,2120
USO LEGUMINOSA	0,6240	1,8664	0,0110	5,0000	148,4132	0,0630
USO VARIEDADE-ADAPTADA	-0,0166	0,9835	0,9710	-1,3785	0,2520	0,5390
PERCEP AUMENTAR PRODUTIVIDADE	0,3311	1,3925	0,1960	-7,0000	0,0009	0,1936
PERCEP AUMENTAR CUSTO	0,0841	1,0878	0,7290	2,5000	12,1825	0,0260
const	-1,4153	0,2429	0,0730	7,0894	1.199,1401	0,1430
Número de observações: 131; Não Zero obs: 53; Zero obs: 78; LR Chi2(13): 36,53; Prob>chi2: 0,0500; Log Likelihood - 119,8387; Vuong test (Pr> z) 0,0000.						

Tabela 24 – Testes de critérios de informações bayesianas de Akaike (AIC) e Schwarz (BIC) para os modelos ZIP

	Modelo ZIP ajustado	Modelo ZIP preliminar
Obs	131	131
Graus de liberdade	24	28
AIC	289,0897	295,6774
BIC	368,0944	376,183

APÊNDICE D

Tabela 25 – Valores observados e preditos de TAPs adotadas no modelo ZIP para cada observação

ID	TAPs adotadas	Valor Predito	Intervalo Considerado	Predito corretamente
1	5	5,3897	4,5 a 5,5	Sim
2	3	3,4437	2,5 a 3,5	Sim
3	6	4,2385	5,5 a 6,0	Não
4	1	1,5517	0,5 a 1,5	Não
5	2	2,7691	1,5 a 2,5	Não
6	1	2,5162	0,5 a 1,5	Não
7	2	1,3947	1,5 a 2,5	Não
8	1	1,3879	0,5 a 1,5	Sim
9	2	1,5547	1,5 a 2,5	Sim
10	2	1,5242	1,5 a 2,5	Sim
11	2	1,0179	1,5 a 2,5	Não
12	2	2,4299	1,5 a 2,5	Sim
13	2	1,6111	1,5 a 2,5	Sim
14	2	1,0045	1,5 a 2,5	Não
15	1	1,3283	0,5 a 1,5	Sim
16	0	0,9496	0 a 0,5	Não
17	4	2,8174	3,5 a 4,5	Não
18	3	3,4984	2,5 a 3,5	Sim
19	4	2,6679	3,5 a 4,5	Não
20	2	1,1692	1,5 a 2,5	Não
21	3	2,1342	2,5 a 3,5	Não
22	1	0,5914	0,5 a 1,5	Sim
23	1	1,1822	0,5 a 1,5	Sim
24	6	5,5662	5,5 a 6,0	Sim
25	3	2,0609	2,5 a 3,5	Não
26	3	1,0874	2,5 a 3,5	Não
27	2	1,5270	1,5 a 2,5	Sim
28	2	1,1262	1,5 a 2,5	Não
29	2	1,1020	1,5 a 2,5	Não
30	2	2,0241	1,5 a 2,5	Sim
31	0	0,2367	0 a 0,5	Sim
32	0	0,9959	0 a 0,5	Não
33	2	0,9190	1,5 a 2,5	Não
34	0	1,5531	0 a 0,5	Não
35	1	0,9931	0,5 a 1,5	Sim
36	3	0,6461	2,5 a 3,5	Não
37	3	3,4014	2,5 a 3,5	Sim
38	0	1,7359	0 a 0,5	Não
39	1	1,0796	0,5 a 1,5	Sim
40	1	1,6477	0,5 a 1,5	Não
41	0	0,6200	0 a 0,5	Não
42	0	1,6574	0 a 0,5	Não
43	3	1,7612	2,5 a 3,5	Não
44	2	1,0314	1,5 a 2,5	Não
45	0	0,2962	0 a 0,5	Sim
46	2	1,0158	1,5 a 2,5	Não
47	1	0,6766	0,5 a 1,5	Sim
48	2	0,3857	1,5 a 2,5	Não
49	1	1,3041	0,5 a 1,5	Sim
50	1	0,1987	0,5 a 1,5	Não
51	2	0,2001	1,5 a 2,5	Não
52	0	0,9760	0 a 0,5	Não
53	0	0,4480	0 a 0,5	Sim
54	0	0,9792	0 a 0,5	Não
55	0	1,3200	0 a 0,5	Não
56	0	0,9739	0 a 0,5	Não
57	3	0,9847	2,5 a 3,5	Não
58	0	0,4467	0 a 0,5	Sim
59	0	0,7314	0 a 0,5	Não
60	0	0,3749	0 a 0,5	Sim
61	0	0,3208	0 a 0,5	Sim
62	0	0,6586	0 a 0,5	Não
63	0	1,0725	0 a 0,5	Não
64	2	0,4147	1,5 a 2,5	Não
65	0	1,0131	0 a 0,5	Não
66	0	1,0501	0 a 0,5	Não
67	0	0,1651	0 a 0,5	Sim
68	3	0,9921	2,5 a 3,5	Não
69	1	0,8902	0,5 a 1,5	Sim
70	2	0,8842	1,5 a 2,5	Não
71	2	0,4805	1,5 a 2,5	Não
72	0	0,8375	0 a 0,5	Não
73	0	0,7271	0 a 0,5	Não
74	0	0,0198	0 a 0,5	Sim
75	0	0,0311	0 a 0,5	Sim
76	0	0,0068	0 a 0,5	Sim
77	0	0,0492	0 a 0,5	Sim
78	0	1,1290	0 a 0,5	Não
79	0	0,4648	0 a 0,5	Sim
80	0	0,6301	0 a 0,5	Não
81	2	1,0269	1,5 a 2,5	Não
82	0	0,2212	0 a 0,5	Sim
83	0	0,0301	0 a 0,5	Sim
84	2	0,2167	1,5 a 2,5	Não
85	0	0,0604	0 a 0,5	Sim
86	0	0,4258	0 a 0,5	Sim
87	0	0,7526	0 a 0,5	Não
88	0	0,0580	0 a 0,5	Sim
89	0	0,4002	0 a 0,5	Sim
90	2	0,5569	1,5 a 2,5	Não
91	0	0,0053	0 a 0,5	Sim
92	0	0,9404	0 a 0,5	Não
93	0	0,1335	0 a 0,5	Sim
94	0	0,4536	0 a 0,5	Sim
95	0	0,0575	0 a 0,5	Sim
96	0	0,7814	0 a 0,5	Não
97	0	0,0020	0 a 0,5	Sim
98	0	0,0508	0 a 0,5	Sim
99	2	0,1869	1,5 a 2,5	Não
100	0	0,3678	0 a 0,5	Sim
101	0	0,6126	0 a 0,5	Não
102	0	0,6642	0 a 0,5	Não
103	0	0,0499	0 a 0,5	Sim
104	0	0,0314	0 a 0,5	Sim
105	0	0,7733	0 a 0,5	Não
106	0	0,1275	0 a 0,5	Sim
107	0	0,0100	0 a 0,5	Sim
108	0	0,4966	0 a 0,5	Sim
109	0	0,0057	0 a 0,5	Sim
110	0	0,4944	0 a 0,5	Sim
111	0	0,6745	0 a 0,5	Não
112	0	0,4576	0 a 0,5	Sim
113	0	0,7444	0 a 0,5	Não
114	0	0,0447	0 a 0,5	Sim
115	0	0,8820	0 a 0,5	Não
116	0	0,1630	0 a 0,5	Sim
117	0	0,6036	0 a 0,5	Não
118	0	0,0840	0 a 0,5	Sim
119	0	0,4544	0 a 0,5	Sim
120	0	0,8985	0 a 0,5	Não
121	0	0,0958	0 a 0,5	Sim
122	0	0,1028	0 a 0,5	Sim
123	0	0,0048	0 a 0,5	Sim
124	0	0,0180	0 a 0,5	Sim
125	0	0,0118	0 a 0,5	Sim
126	0	0,1305	0 a 0,5	Sim
127	0	0,0074	0 a 0,5	Sim
128	0	0,4938	0 a 0,5	Sim
129	0	0,0494	0 a 0,5	Sim
130	0	0,0636	0 a 0,5	Sim
131	0	0,4669	0 a 0,5	Sim