



Efeito do acesso ao crédito rural sobre a probabilidade de adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária por produtores rurais do Estado de São Paulo

Marcelo José Carrer
IFSP, São Carlos
marcelocarrer@ifsp.edu.br

Alexandre Gori Maia
IE, UNICAMP
gori@unicamp.br

Marcela de Mello Brandão Vinholis
EMBRAPA
Marcela.vinholis@embrapa.br

Hildo Meirelles de Souza Filho
UFSCar, DEP
hildo@dep.ufscar.br

Resumo. Esse artigo analisa o efeito do acesso ao crédito rural sobre a probabilidade de adoção de sistemas ILP. Utilizam-se dados inéditos de pesquisa primária aplicada a uma amostra de 175 produtores rurais do estado de São Paulo. Para considerar a endogeneidade entre acesso ao crédito e adoção de sistemas ILP, utilizou-se um modelo de Mínimos Quadrados em 2 Estágios (MQ2E). Os resultados do modelo mostraram que a adoção de sistemas ILP é explicada pelo acesso às políticas de crédito e extensão rural, escala de produção, tipo de relevo e percepção *ex ante* sobre os benefícios desses sistemas. A discussão final destaca as implicações desses resultados para a difusão de sistemas de produção sustentáveis na agropecuária brasileira.

Palavras-chave: *crédito rural, sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), tecnologias agrícolas sustentáveis, adoção de inovações.*

Abstract. This article presents an analysis of the effect of rural credit access on the probability of adopting ICLS. Data from a sample of 175 farmers from the State of São Paulo was used. We used 2 Stages Least Squares (2SLS) to consider the covariance of errors between equations. The results of the model showed that access to credit and rural extension policies, production scale, and ex-ante perception about the benefits of ICLS explain adoption of these systems. The results have important implications for the diffusion of sustainable production systems, which are discussed in the paper.

Keywords: *rural credit, Integrated Crop Livestock Systems (ICLS), agricultural sustainable technologies, adoption of innovations.*



1. INTRODUÇÃO

Os sistemas ILP e ILPF são definidos como sistemas de produção que integram atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais realizadas de forma planejada na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e buscam efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema (Gil et al., 2015; Vinholis et al., 2017). A diferença entre os sistemas ILP e ILPF é a presença de atividade silvícola no segundo caso. Há evidências de que esses sistemas proporcionam um conjunto de benefícios, tais como recuperação e/ou renovação de pastagens degradadas, manutenção e reconstituição de cobertura florestal, melhorias nos atributos físico-químicos e biológicos do solo, redução nas emissões de GEE, economias de escopo por meio da melhor utilização dos fatores de produção e diversificação da renda rural (Zimmer et al., 2004; Vilela et al., 2011; MAPA, 2012; Gil et al., 2015; Moraes et al., 2014; Salton et al., 2014; Figueiredo et al., 2017).

O principal instrumento da política agrícola brasileira utilizado para alavancar a difusão dos sistemas de integração é o crédito rural, cuja oferta é feita com taxa de juros subsidiada pelo governo federal. O Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) estabelece o volume de recursos e as taxas de juros que deverão ser praticadas nas diferentes linhas de crédito. Para garantir as taxas pré-estabelecidas, o SNCR utiliza-se do instrumento de equalização de taxas de juros. Por sua vez, bancos comerciais e cooperativas de crédito operacionalizam essa política emprestando recursos financeiros para os agricultores com taxas de juros inferiores às taxas livres de mercado.¹ Além das tradicionais linhas de investimento e custeio do SNCR, existem ainda algumas linhas de crédito direcionadas especialmente para a adoção de práticas e tecnologias mitigadoras de GEE, com destaque para o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC).²

Esse desenho político institucional parte do pressuposto de que imperfeições no livre funcionamento do mercado de crédito rural resultariam em racionamento dos recursos financeiros (Hoff and Stiglitz, 1990; Besley, 1994). Agricultores com restrições no acesso ao crédito estariam menos propensos à realização de investimentos em nível ótimo, compra de insumos modernos e adoção de novas tecnologias (Steigum, 1983; Glosh et al., 2000). De fato, estudos com base em dados de propriedades rurais (*farm-level data*) encontraram

¹ A política de crédito rural para agricultura empresarial, foco do presente artigo, consiste na oferta de recursos subsidiados para investimento, custeio e comercialização da produção. No ano safra 2015/16, os recursos para custeio eram limitados em R\$ 650.000,00 por agricultor com taxa de juros nominal de 8,75% ao ano. Já os recursos para investimento estão inseridos em diferentes programas estabelecidos no plano safra do governo federal. O volume máximo de recursos por produtor e a taxa de juros dos empréstimos para investimento são variáveis de acordo com cada programa. Destaca-se que, por meio do programa ABC, foram ofertados R\$ 2,9 bilhões ó limitados a R\$ 5 milhões por produtor ó para a realização de investimentos em tecnologias mitigadores de GEE, a exemplo da adoção de sistemas ILP. A taxa de juros nominal desse programa de investimento foi de 8,5% ao ano.

² O Programa ABC, criado pelo governo federal em 2012, tem como alvo o público da agricultura empresarial. Além do custeio associado ao investimento, tem por finalidade financiar investimentos fixos e semifixos destinados à recuperação de áreas e pastagens degradadas, à implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária, lavoura-floresta, pecuária-floresta ou lavoura-pecuária-floresta e à implantação e manutenção de florestas comerciais ou destinadas à recomposição de reserva legal ou de áreas de preservação permanente. O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) estima que serão disponibilizados R\$ 38 bilhões exclusivamente para alavancar a difusão dos sistemas ILP e ILPF até 2020. O custo de equalização desses recursos (diferença entre a taxa de juros praticada nas transações do mercado financeiro e a taxa de juros praticada nas transações do crédito rural) deverá ser da ordem de R\$ 14 bilhões para o Tesouro Nacional (MAPA, 2012).



evidências de que o acesso ao crédito rural é importante para alavancar a adoção de novas tecnologias e a compra de insumos produtivos modernos, cujos efeitos na produtividade são positivos (Zeller et al., 1998; Petrick, 2004; Ali et al., 2014; Gebremariam & Tesfaye, 2018).

Em que pesem as evidências sobre a importância do crédito rural para a adoção de tecnologias, não foram encontrados estudos que se preocuparam em analisar a relação entre o acesso ao crédito e a adoção de tecnologias mitigadoras de GEE na agricultura brasileira. O crédito rural no Brasil é subsidiado com recursos do orçamento público, o que aumenta a importância de avaliar a eficácia da política e a eficiência no uso dos recursos. Mesmo com o governo provendo subsídios e regulações, inclusive para a adoção de tecnologias sustentáveis, o acesso ao crédito não é direto e podem coexistir restrição e mau uso dos recursos.

O objetivo central do estudo é investigar o efeito do acesso ao crédito rural sobre a probabilidade de adoção de sistemas ILP por produtores rurais do estado de São Paulo. A hipótese de causalidade reversa (simultaneidade) entre acesso ao crédito rural e adoção de tecnologias sustentáveis é testada a partir de um sistema de equações simultâneas (SEM). As análises baseiam-se em dados primários coletados no ano safra 2015/16 junto a uma amostra de 175 propriedades rurais do estado de São Paulo. Os dados foram analisados por meio de um Modelo de Mínimos Quadrados em 2 Estágios (MQ2E).

Além dessa introdução, o artigo está dividido em quatro seções. A próxima seção aborda a relação entre acesso ao crédito e adoção de tecnologias na agropecuária. Na terceira seção do artigo apresentam-se a amostragem, as variáveis de análise e os modelos econométricos adotados nas análises empíricas. A quarta seção apresenta e discute os resultados da análise econométrica dos determinantes da adoção de sistemas ILP. Por fim, a última seção apresenta as conclusões e implicações do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A teoria microeconômica neoclássica postula que a adoção de uma nova tecnologia resulta de um processo decisório individual. Ao tomar a decisão de adotar uma tecnologia, o produtor rural pretende maximizar a utilidade esperada da adoção. A decisão de adotar a nova tecnologia ocorrerá quando a utilidade esperada da adoção (U_a) superar a utilidade esperada da não adoção (U_n), isto é, $U_a > U_n$. Isso, por sua vez, ocorrerá quando os benefícios marginais esperados a partir da adoção suplantarem os custos marginais dessa decisão (Feder et al., 1985; Foster & Rosenzweig, 2010). Novas tecnologias agrícolas podem demandar alto investimento inicial. Neste caso, a disponibilidade de recursos financeiros é um importante determinante das decisões de adoção. A literatura mostra que produtores rurais sem restrições de acesso ao crédito têm melhores condições de liquidez para aceitar projetos de maior risco (e maior expectativa de retorno) e, conseqüentemente, estão mais propensos à realização de investimentos em ativos fixos e adoção de novas tecnologias (Feder et al., 1985; Carter & Olinto, 2003; Petrick, 2004; Foster & Rosenzweig, 2010; Ali et al., 2014; Gebremariam & Tesfaye, 2018). Os recursos financeiros do crédito rural também são importantes para custear as despesas de safra dos sistemas de produção, o que aumenta a probabilidade do uso de insumos produtivos de maior qualidade e em proporções ótimas. Assim, há também evidências empíricas de que o crédito rural é um condicionante da eficiência econômica das propriedades rurais (Solís et al., 2007; Backman et al., 2011; Zhao & Barry, 2014).



Diversos estudos empíricos investigaram o efeito do acesso (ou da restrição) ao crédito nas decisões de alocação de recursos e adoção de novas tecnologias de produção por produtores rurais (Zeller et al., 1998; Petrick, 2004; Ali et al., 2014; Abdallah, 2016; Abate et al., 2016; Gebremariam & Tesfaye, 2018).

Zeller et al. (1998) aplicaram o método de dois estágios para tratar a endogeneidade entre o acesso ao crédito e a adoção de diferentes sistemas de produção por agricultores do Malauí. Os autores constataram que agricultores com títulos formais de terra, maior patrimônio e maior nível de capital humano e social tinham maior probabilidade de acessar recursos de programas de crédito rural formal. O acesso a esses recursos, por sua vez, aumentou a probabilidade da adoção de sistemas de produção mais rentáveis (milho híbrido e tabaco).

Petrick (2004) investigou o efeito do acesso ao crédito subsidiado pelo governo sobre as decisões de investimento de produtores rurais da Polônia. Por meio de um modelo probit, os autores constataram que o acesso ao crédito era determinado principalmente pela reputação do agricultor. Verificou-se, ainda, que o acesso ao crédito afetava positivamente as decisões de investimento dos agricultores. Contudo, o efeito marginal do crédito sobre os investimentos foi menor do que um, indicando que parte dos recursos acessados era direcionada para outras finalidades.

Em estudo com agricultores de Ruanda, Ali et al. (2014) identificaram a existência dos três tipos de restrição ao crédito rural (oferta, custo de transação e aversão ao risco). Os autores constataram que a disponibilidade de ativos próprios e o acesso à informação reduzem significativamente os custos de transação e, conseqüentemente, a probabilidade de restrições no acesso ao crédito pelos agricultores. Ademais, constatou-se que agricultores sem restrição no acesso ao crédito utilizavam insumos e tecnologias modernas (e.g., fertilizantes químicos, sementes geneticamente melhoradas e mão de obra contratada) com maior intensidade do que aqueles que enfrentavam restrições. Os autores estimaram ainda que, se eliminadas todas as formas de restrição no acesso ao crédito, a produtividade média das propriedades rurais da amostra tenderia a crescer 17%.

Boucher et al. (2009) também encontraram evidências da existência dos três tipos de restrição no acesso ao crédito rural por agricultores peruanos. Os autores constataram que a disponibilidade de títulos formais de propriedade da terra e o acesso à informação reduzem a probabilidade de restrição no acesso ao crédito. Diferenças nas atitudes frente ao risco dos agricultores também afetam a probabilidade de acessar crédito rural. Os autores observaram que as restrições no acesso ao crédito rural têm impacto negativo sobre as decisões de alocação dos fatores de produção nas propriedades rurais.

Abate et al. (2016) investigaram a importância das cooperativas de crédito rural e instituições de microfinanças para alavancar a adoção de novas tecnologias por agricultores da Etiópia. Verificou-se que tanto a probabilidade de adoção, como também a intensidade no uso de fertilizantes e sementes melhoradas, são positivamente afetadas pelo acesso ao crédito rural em cooperativas e instituições de microfinanças. O acesso ao crédito, por sua vez, é influenciado pela escolaridade, gênero (feminino), distância das instituições financeiras e fontes de renda não rural dos agricultores.

Em estudo com agricultores da África Subsaariana, Abdallah (2016) estimou que o acesso ao crédito rural aumenta em 4% a probabilidade da adoção de tecnologias de conservação e recuperação do solo (rotação de culturas, consórcio de culturas, sistemas de integração, etc.). Constatou-se ainda que o acesso à informação e a posse de terra afetam



positivamente a probabilidade de acesso ao crédito. A percepção de custos de transação *ex-ante* tem efeito contrário.

Por meio de um modelo probit multinomial, Gebremariam e Tesfaye (2018) investigaram os fatores determinantes da adoção de cinco diferentes tecnologias (fertilizantes químicos, irrigação, rotação de culturas, sementes melhoradas e fertilizantes orgânicos) por agricultores de da Etiópia. O acesso ao crédito teve impacto positivo e estatisticamente significativo sobre as decisões de adoção de fertilizantes químicos, rotação de culturas e fertilizantes orgânicos. Os autores argumentaram que o relaxamento nas restrições de acesso ao crédito aumenta a capacidade de compra de novos insumos e adoção de novas tecnologias pelos agricultores.

3. METODOLOGIA

3.1. Amostra, variáveis e hipóteses

As análises empíricas desse estudo se basearam em uma base de dados única de uma amostra aleatória de 175 produtores rurais do estado de São Paulo, Brasil ó 66 adotaram sistemas ILP em suas propriedades rurais e 109 não adotaram. A adoção dos sistemas ILP implica em rotação planejada, sistematizada e continuada de uma parcela da área de pastagem com uma atividade agrícola, a exemplo de soja, milho, amendoim, dentre outras.³ A subamostra de não adotantes contempla produtores rurais que obrigatoriamente tenham a atividade de pecuária, mas não como atividade única. Muitos tem a atividade agrícola, mas não de forma integrada na mesma área.

Os dados foram coletados por meio da aplicação de questionários estruturados e visitas *in loco* no âmbito de um projeto de pesquisa. Os dados referem-se ao ano safra 2015/16 (cross-section) e compreendem propriedades rurais das principais regiões com produção pecuária do estado de São Paulo (Figura 1). Apesar de os dados se referirem ao ano safra 2015/16, o acesso ao crédito rural no instante t_0 pode determinar a adoção de sistemas de integração no instante t_1 . Assim, a variável de acesso ao crédito rural foi coletada para os anos-safra 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

As variáveis utilizadas nas análises econométricas são apresentadas na Tabela 1. Dentre os 175 agricultores, 131 acessaram crédito rural oficial entre os anos-safra 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Percebe-se que o acesso à política de crédito rural é alto entre os agricultores da amostra desse estudo. Em análise sobre o mercado de crédito rural para a pecuária de corte no estado de São Paulo, Carrer et al. (2013) também verificaram que o acesso ao crédito rural era alto entre os produtores daquela amostra.

Por sua vez, dentre os adotantes de ILP, 86% acessaram recursos financeiros do crédito rural no período investigado. Dentre os agricultores que não adotaram esses sistemas, 65% acessaram crédito rural.

³ A rotação entre atividade agrícola e pecuária no sistema ILP ocorre de forma sequencial. Geralmente, a cada ano, um terço da área de pastagem é destinada à produção agrícola (soja, milho, amendoim, dentre outras), enquanto o restante da área mantém-se com a produção pecuária. A cada safra completada, a produção agrícola migra para o próximo terço da área de pastagem e assim sucessivamente. A percentagem da área de pastagem destinada à produção agrícola, bem como o número de safras agrícolas na rotação podem variar entre as propriedades rurais adotantes desses sistemas.

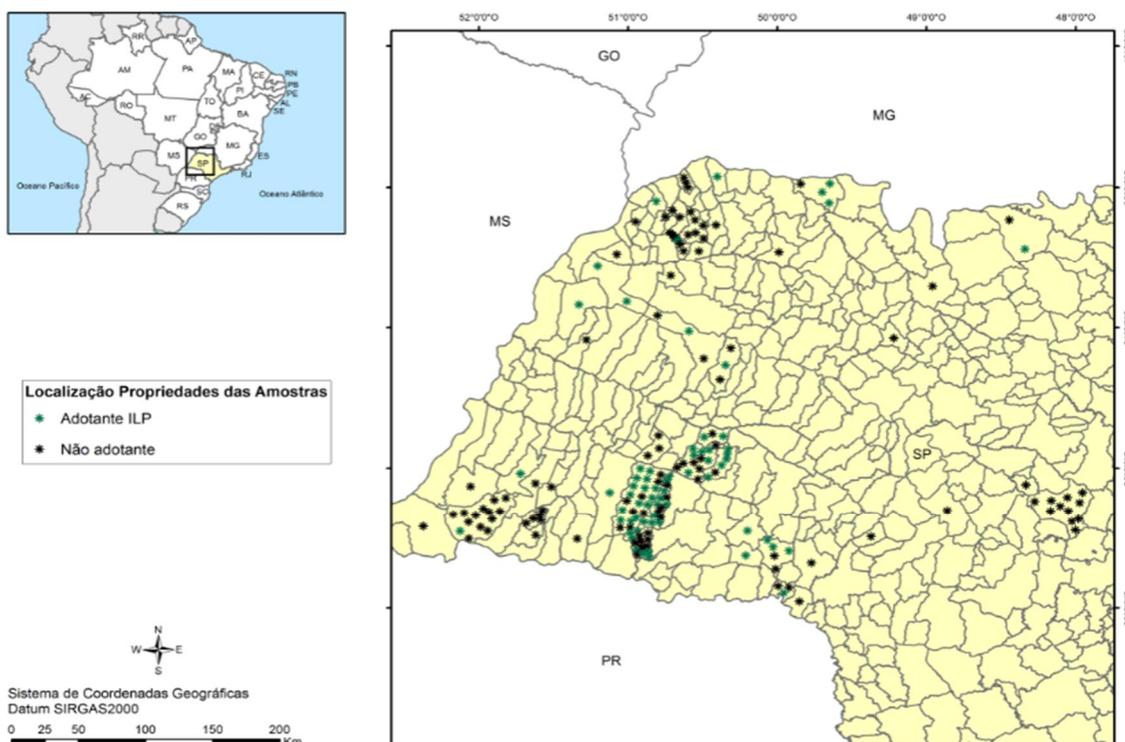


Figura 1. Distribuição geográfica da amostra.

A principal hipótese da pesquisa é que o acesso aos recursos da política de crédito rural aumenta a probabilidade da adoção dos sistemas ILP pelos produtores rurais da amostra. Conforme discutido na seção 2, o acesso aos recursos financeiros do crédito rural reduz a restrição orçamentária e aumenta a liquidez, gerando incentivos para os produtores aceitarem projetos de maior risco e com maior expectativa de retorno. Portanto, espera-se que o crédito seja um importante instrumento de difusão dos sistemas ILP.

Quanto às variáveis exógenas dos modelos, *Nextö* refere-se ao número de visitas do serviço de extensão rural que os agricultores receberam em suas propriedades no ano safra 2015/16. A extensão rural é importante para a difusão de informações sobre novas tecnologias de produção e para reduzir as chances de manejo incorreto de novas tecnologias, aumentando a confiança dos agricultores na adoção (Carrer et al., 2017). Portanto, espera-se que a variável *Nextö* afete positivamente a probabilidade de adoção dos sistemas ILP.

A variável *Eduçö* é uma proxy para o capital humano dos agricultores. A escolaridade é assumida na literatura como um importante determinante da adoção de novas tecnologias (Feder et al., 1985) e do acesso ao crédito rural (Ali et al., 2014; Abate et al., 2016). Agricultores com maior escolaridade possuem maior capacidade de tomada de decisões quanto ao uso e alocação dos recursos produtivos. Espera-se, portanto, efeito positivo da variável *Eduçö* sobre a probabilidade da adoção de ILP.

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas nas análises econométricas.

Variável	Descrição	Média	D.P.
<i>Variáveis endógenas</i>			



Credit	1 para acesso ao crédito rural; 0 caso contrário	0,749	0,435
ILP	1 para a adoção de sistemas ILP; 0 caso contrário	0,377	0,486
<i>Variáveis exógenas</i>			
Next	Número de visitas de técnicos da extensão rural	6,886	9,107
Educ23	1 para ensino superior; 0 caso contrário	0,310	0,491
Exper	Anos de experiência com agricultura	18,766	17,429
Logarea	Log da área da fazenda (em hectares)	5,207	1,071
ILPEnv	Escala likert (1 discordo totalmente; 5 concordo totalmente) obtida a partir de: acredito que sistemas ILP geram benefícios para o meio ambiente e melhoram a produtividade rural	4,217	1,184
Rel	Relevo predominante na fazenda: 1 ó plano, 2 ó suave ondulado, 3 ó ondulado, 4 ó declivoso.	2,131	0,677
RiskAv	Escala likert (1 discordo totalmente; 5 concordo totalmente) obtida a partir de: quando se trata de negócios sempre prefiro a opção mais segura.	4,308	0,951
Nfarms	Número de fazendas com título de propriedade registrado em cartório	2,000	1,430
Insurance	1 para acesso ao mercado de seguro rural; 0 caso contrário	0,143	0,351
DepAgr	Participação da renda agropecuária na renda total do produtor	0,725	0,315

A variável δ Exper também é uma proxy para o capital humano. A experiência na agricultura reflete o conhecimento prático acumulado dos produtores. No entanto, seu efeito sobre a adoção de novas tecnologias pode se dar em dois sentidos opostos. Por um lado, agricultores com maior conhecimento prático acumulado tendem a compreender mais facilmente as características de novas tecnologias e a lidar melhor com aspectos da gestão da propriedade rural, o que tende a aumentar as chances de adoção (Vinholis et al., 2017). Por outro lado, como a experiência tem correlação positiva com a idade, esses agricultores tendem a possuir maior aversão ao risco e menor propensão à mudança (Carrer et al., 2017).

A importância da escala de produção sobre a adoção de sistemas ILP será investigada por meio da variável δ Logarea. Para tecnologias caracterizadas pela existência de economias de escala, observa-se efeito positivo da escala de produção sobre a probabilidade de adoção (Feder et al., 1985; Pruitt et al., 2012; Carrer et al., 2017; Vinholis et al., 2017). As culturas agrícolas mais produzidas nos sistemas ILP dos produtores do Estado de São Paulo (soja, milho e amendoim) demandam alto investimento inicial em capital fixo (tratores, implementos e estrutura de armazenagem). O custo fixo de produção, portanto, também é elevado. Assim, é razoável esperar que existam economias de escala para pequenos volumes de produção e que a disponibilidade de terra tenha efeito positivo sobre a probabilidade de adoção.

δ ILPEnv tem o objetivo de mensurar a percepção *ex ante* dos agricultores quanto aos benefícios ambientais e econômicos gerados pelos sistemas ILP. Essa variável foi construída a partir do nível de concordância (1 ó discordo totalmente; 5 ó concordo totalmente) dos agricultores com relação à seguinte afirmativa: δ acredito que sistemas ILP geram benefícios para o meio ambiente e melhoram a produtividade rural. Quanto maior o nível de concordância, maior a percepção de que os sistemas ILP geram benefícios econômicos e



As estimativas do modelo econométrico são apresentadas na Tabela 2. A estimativa da covariância dos erros (σ_{η_1}) e (σ_{η_2}) é negativa e significativa a 1%. A relação entre os erros das duas equações indica a endogeneidade das variáveis δILP e $\delta Credit$ e sugerem que apenas as estimativas de MQ2E são consistentes. Os ajustes apresentaram estatísticas de qualidade relativamente boas, com R^2 igual a 0,198. Deve-se considerar que modelos com variáveis dependentes binárias apresentam normalmente R^2 baixos. Os instrumentos utilizados para tratar a endogeneidade da variável $\delta Credit$ foram: $\delta Nfarms$, $\delta Insurance$, $\delta PercCredit$ e $\delta DepAgr$. Ressalta-se que esses instrumentos, utilizados para estimar a variável $\delta Credit$ no 1º estágio das análises, mostraram-se bastante satisfatórios.

As estimativas do coeficiente para a variável $\delta Credit$ sugere um impacto positivo e significativo do crédito sobre a probabilidade de adoção de ILP, corroborando a principal hipótese da pesquisa. Esse resultado reforça a importância do acesso ao crédito rural para a adoção de novas tecnologias.

Tabela 2. Modelo MQ2E para determinantes da adoção de sistemas ILP.

Variável	Coefficiente
Credit	0,490 ** (,214)
Next	0,008 ** (,003)
Educ23	-0,061 (,096)
Exper	0,002 (,002)
Logarea	0,0118 *** (,034)
Rel	-0,089 * (,054)
RiskAv	-0,471 + (,036)
ILPEnv	0,091 *** (,030)
R-squared ¹	0,198
cov(u_1, u_2)	-0,129 *** (,018)

*** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.10$; + $p < 0.15$

¹ McFadden's pseudo R^2 para o modelo probit; coeficiente de Bentler-Raykov para ML-SUR; soma de quadrados explicada / soma de quadrados total para 3SLS.

Os cultivos agrícolas mais utilizados na rotação dos sistemas ILP dos agricultores da amostra desse estudo são soja, milho e amendoim. Essas culturas demandam alto investimento em estrutura física (tratores, implementos, e serviços de armazenagem) e aumentam os riscos de produção e mercado em comparação com a pecuária. O acesso à política de crédito rural aumenta a capacidade de os produtores realizarem esses investimentos utilizando alavancagem financeira com recursos de baixo custo. Por um lado,



as taxas de juros contratadas pelos agricultores em suas operações de crédito rural oscilaram entre 6,5% e 8,75% ao ano ó no mesmo período a taxa básica de juros da economia brasileira oscilou entre 7,25% e 14,25% ao ano. Por outro lado, Oliveira Junior et al. (2016) estimaram uma taxa interna de retorno de 11,37% ao ano para sistemas ILP no Brasil. Mesmo que essa taxa de retorno seja sensível a fatores econômicos, técnicos e institucionais, parece razoável supor que ela seja superior ao custo do crédito rural em grande parte dos projetos de implementação de sistemas ILP. Esses dados confirmam a racionalidade econômica dos produtores no uso dos recursos do crédito rural para a adoção e custeio dos sistemas ILP.

Ademais, em decorrência da alta intensidade no uso de fertilizantes, defensivos e maquinário, as despesas de safra dos sistemas ILP são substancialmente maiores do que em sistemas de produção pecuária. Portanto, os recursos do crédito rural também são importantes para financiar o capital de giro demandado pelos sistemas ILP. O efeito positivo e estatisticamente significativo do acesso ao crédito sobre a adoção de sistemas ILP é importante para justificar a continuidade da política de crédito rural, cuja operacionalização consiste no uso de recursos do Tesouro Nacional para equalizar taxas de juros e ofertar recursos de baixo custo.

As variáveis $\delta_{Next\acute{o}}$, $\delta_{Logarea\acute{o}}$, $\delta_{ILPEnv\acute{o}}$, $\delta_{Rel\acute{o}}$ e $\delta_{RiskAv\acute{o}}$ também se mostraram importantes para explicar as decisões de adoção de sistemas ILP pelos produtores rurais. O resultado da variável $\delta_{Next\acute{o}}$ corrobora a hipótese de que o acesso à política de extensão rural aumenta a probabilidade da adoção de novas tecnologias de produção (Carrer et al., 2017; Gebremariam & Tesfaye, 2018). As informações disponibilizadas pela extensão rural são importantes para criar incentivos à adoção e reduzir a probabilidade de manejo inadequado dos sistemas ILP. Os sistemas ILP aumentam a complexidade organizacional nas fazendas em decorrência da necessidade de planejamento e coordenação de um conjunto maior de processos produtivos. O acesso à extensão rural é um importante instrumento para auxiliar os produtores no manejo e gerenciamento desses processos.

O parâmetro positivo e estatisticamente significativo da variável $\delta_{Logarea\acute{o}}$ indica a existência de economias de escala associadas à adoção de sistemas ILP. Os investimentos iniciais em capital e os custos fixos de produção daí decorrentes são diluídos em escalas de produção maiores. De fato, as culturas agrícolas mais praticadas nos sistemas ILP (soja, milho e amendoim) são caracterizadas pela existência de economias de escala para pequenos volumes de produção.

O resultado da variável $\delta_{ILPEnv\acute{o}}$ mostra que a percepção *ex-ante* dos produtores quanto aos benefícios ambientais e econômicos gerados pelos sistemas ILP é importante para influenciar a decisão de adoção. Assim, a mudança de percepção *ex ante* dos agricultores a partir, por exemplo, de maior disponibilidade de informações tem potencial de alavancar a difusão desses sistemas.

O relevo predominante na propriedade rural também se mostrou importante para explicar a probabilidade de adoção de sistemas ILP. Conforme era esperado, produtores que possuem relevo predominantemente ondulado ou declivoso em suas propriedades têm menor probabilidade de adotar sistemas ILP. Esse resultado se explica pelo custo de produção maior em decorrência da dificuldade de movimentação de máquinas e implementos em fazendas com esse tipo de relevo, ou mesmo em função da impossibilidade de execução da rotação do pasto com o cultivo agrícola.

5. CONCLUSÕES



Esse estudo teve como objetivo central estimar a relação entre o acesso ao crédito rural e a adoção de sistemas ILP por produtores rurais no estado de São Paulo, Brasil. O principal resultado do estudo indica que o acesso à política de crédito rural aumenta a probabilidade de adoção de sistemas ILP. Esse resultado é importante para justificar a política, cujo funcionamento está ancorado na equalização de taxas de juros com recursos do orçamento público. Conforme constatado nesse estudo, esses recursos subsidiados estão sendo utilizados para financiar a adoção de tecnologias sustentáveis pelos produtores. Assim, percebe-se que a política está atingindo o objetivo de incentivar a difusão de tecnologias mitigadoras de GEE.

O acesso à política de extensão rural, o tamanho da propriedade, a percepção *ex ante* de benefícios dos sistemas ILP e o relevo da propriedade também se mostraram importantes para explicar as decisões de adoção de sistemas ILP pelos produtores. O resultado associado à política de extensão rural mostra que, além de recursos financeiros, é importante que os produtores recebam orientação técnica e organizacional adequada para adotar e gerenciar os sistemas ILP. A complexidade de gestão e de conhecimento técnico e de mercado é maior nos sistemas de integração. Em que pese a redução dos investimentos públicos na política de extensão rural nas últimas décadas, percebe-se que essa política ainda é importante para criar incentivos e aumentar a confiança dos agricultores na adoção de novas tecnologias. Tendo em vista a importância das políticas de crédito e extensão rural para a difusão de sistemas ILP, é desejável que, na formulação da política agrícola, seja considerada a possibilidade de ofertar recursos financeiros e orientação técnica de maneira conjunta. Isso pode aumentar a efetividade da política pública para a difusão de novas tecnologias sustentáveis.

A percepção *ex ante* quanto aos benefícios resultantes da adoção dos sistemas ILP está relacionada à observação de outros produtores adotantes. Essa percepção pode ser ampliada à medida que mais produtores rurais adotam esses sistemas. O modelo de transferência de tecnologia que prevê o estabelecimento de unidades demonstrativas regionais em produtores rurais inovadores favorece esse aspecto. Eventos técnicos de divulgação realizados *in loco* permitem a troca de experiências entre os produtores, o que, por sua vez, pode alavancar a difusão dos sistemas ILP.

Notou-se também a existência de economias de escala associadas à adoção de sistemas ILP. Políticas de integração da cadeia produtiva podem criar/alavancar estruturas de governança que permitam o aproveitamento de sinergias e a produção em escala adequada. Por exemplo, a ação conjunta entre indústria compradora da commodity agrícola, grande pecuarista proprietário de terras e agricultor especialista na produção de grãos pode possibilitar o melhor aproveitamento de áreas de pastagem degradadas para a produção agrícola em escala apropriada, favorecendo a recuperação da pastagem e a oferta de grãos para a indústria compradora. Esse tipo de estrutura de governança pode ser incentivado por meio de políticas de integração entre os agentes da cadeia produtiva.

Esse estudo promoveu novas evidências sobre as decisões de adoção de uma tecnologia mitigadora da emissão de GEE na agropecuária brasileira. O próprio desenho dos planos anuais da política agrícola brasileira tem se preocupado em criar incentivos para a difusão dessas tecnologias. A oferta de crédito rural subsidiado, principal instrumento utilizado pelo governo, se mostrou importante para afetar as decisões dos produtores da amostra desse estudo. O principal resultado do estudo, apesar de importante para justificar a política de crédito, pode ser aprofundado em estudos futuros. Especificamente, sugere-se que sejam mensurados os benefícios econômicos e ambientais decorrentes da difusão de sistemas ILP vis-à-vis o custo orçamentário da política de crédito rural. Ademais, estudos que



mensurem os efeitos das políticas de crédito e extensão rural sobre a adoção de outras tecnologias sustentáveis também são desejáveis. Esses estudos poderão contribuir com a difusão dessas tecnologias e justificar (ou não) a continuidade dos investimentos públicos nas políticas de crédito e extensão rural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro por meio de auxílio regular à pesquisa (2015/16793-5).

REFERÊNCIAS

- Abate, G. T., Rashid, S., Borzaga, C., & Getnet, K. (2016). Rural Finance and Agricultural Technology Adoption in Ethiopia: Does the Institutional Design of Lending Organizations Matter? *World Development*, 84, 235-253.
- Abdallah, A. H., & Abdallah, A. H. (2016). Does credit market inefficiency affect technology adoption? Evidence from Sub-Saharan Africa. *Agricultural Finance Review*, 76(4), 494-511.
- Adjognon, S. G., Liverpool-Tasie, L. S. O., & Reardon, T. A. (2017). Agricultural input credit in Sub-Saharan Africa: Telling myth from facts. *Food Policy*, 67, 93-105.
- Ali, D. A., Deininger, K., & Duponchel, M. (2014). Credit constraints and agricultural productivity: Evidence from rural Rwanda. *Journal of Development Studies*, 50(5), 649-665.
- Bäckman, S., Islam, K. Z., & Sumelius, J. (2011). Determinants of technical efficiency of rice farms in North-Central and North-Western regions in Bangladesh. *The Journal of Developing Areas*, 45(1), 73-94.
- Besley, T. (1994). How do market failures justify interventions in rural credit markets? *The World Bank Research Observer*, 9(1), 27-47.
- Boucher, S. R., Guirkinger, C., & Trivelli, C. (2009). Direct elicitation of credit constraints: Conceptual and practical issues with an application to Peruvian agriculture. *Economic Development and Cultural Change*, 57(4), 609-640.
- Carrer, M. J., de Souza Filho, H. M., & Batalha, M. O. (2017). Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 11-19.
- Carter, M. R., & Olinto, P. (2003). Getting institutions right for whom? Credit constraints and the impact of property rights on the quantity and composition of investment. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(1), 173-186.
- D'Souza, G., Cyphers, D., & Phipps, T. (1993). Factors Affecting the Adoption of Sustainable Agricultural Practices. *Agricultural and Resource Economics Review*, 22(2), 159-165.
- Farrin, K., & Miranda, M. J. (2015). A heterogeneous agent model of credit-linked index insurance and farm technology adoption. *Journal of Development Economics*, 116, 199-211.
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255-298.
- Feleke, S., & Zegeye, T. (2006). Adoption of improved maize varieties in Southern Ethiopia:



- Factors and strategy options. *Food Policy*, 31(5), 442-457.
- Figueiredo, E. B., Jayasundara, S., Bordonal, R. O., Berchielli, T. T., Reis, R. A., Wagner-Riddle, C., & La Scala Jr, N. (2017). Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 420-431.
- Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. *Annu. Rev. Econ.*, 2(1), 395-424.
- Gebremariam, G., & Tesfaye, W. (2018). The heterogeneous effect of shocks on agricultural innovations adoption: Microeconometric evidence from rural Ethiopia. *Food Policy*, 74, 154-161.
- Gil, J., Siebold, M., & Berger, T. (2015). Adoption and development of integrated crop livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 394-406.
- Giné, X., & Yang, D. (2009). Insurance, credit, and technology adoption: Field experimental evidence from Malawi. *Journal of Development Economics*, 89(1), 1-11.
- Ghosh, P., Mookherjee, D., & Ray, D. (2000). Credit rationing in developing countries: an overview of the theory. *Readings in the theory of economic development*, 383-401.
- Hoff, K., & Stiglitz, J. E. (1990). Imperfect information and rural credit markets puzzles and policy perspectives. *World Bank Economic Review*, 4(3), 235-251.
- Karlan, D., Osei, R., Osei-Akoto, I., & Udry, C. (2014). Agricultural decisions after relaxing credit and risk constraints. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(2), 597-652.
- Kochar, A. (1997). An empirical investigation of rationing constraints in rural credit markets in India. *Journal of Development Economics*, 53(2), 339-371.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO ó MAPA. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/ACS, 173 p., 2012.
- Moraes, A., Faccio Carvalho, P. C., Anghinoni, I., Lustosa, S. B. C., Andrade, S. E. V. G., & Kunrath, T. R. (2014). Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, 4-9.
- Oliveira Júnior, O. L., Carnevali, R. A., Peres, A. A. C., Reis, J. C., Moraes, M. C. M. M., & Pedreira, B. C. (2016). Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. *Archivos de Zootecnia*, 65(250).
- Petrick, M. (2004). Farm investment, credit rationing, and governmentally promoted credit access in Poland: a cross-sectional analysis. *Food Policy*, 29(3), 275-294.
- Pruitt, J., Gillespie, J., Nehring, R., & Qushim, B. (2012). Adoption of Technology, Management Practices, and Production Systems by U.S. Beef Cow-Calf Producers. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 44(2), 203-222.
- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenco, G., Silva, W. M., & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 70-79.
- Solís, D., Bravo-Ureta, B. E., & Quiroga, R. E. (2007). Soil conservation and technical efficiency among hillside farmers in Central America: a switching regression model. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 51(4), 491-510.
- Steigum Jr, E. (1983). A financial theory of investment behavior. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 637-645.
- Stiglitz, J. E., & Weiss, A. (1981). Credit rationing in markets with imperfect information.



- The American Economic Review*, 71(3), 393-410.
- Thomas, G. A., Titmarsh, G. W., Freebairn, D. M., & Radford, B. J. (2007). No-tillage and conservation farming practices in grain growing areas of Queensland: a review of 40 years of development. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(8), 887-898.
- Vilela, L., Junior, G. B. M., Macedo, M. C. M., Marchão, R. L., Júnior, R. G., Pulrolnik, K., & Maciel, G. A. (2012). Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1127-1138.
- Vinholis, M. D. M. B., Carrer, M. J., & Souza Filho, H. M. D. (2017). Adoption of beef cattle traceability at farm level in São Paulo State, Brazil. *Ciência Rural*, 47(9).
- Wooldridge, J. M. (2003). *Introductory Econometrics: A Modern Approach. Economic Analysis* (2nd ed.). Mason: Thomson South-Western. <https://doi.org/10.1198/jasa.2006.s154>
- Zhao, J., & J. Barry, P. (2014). Effects of credit constraints on rural household technical efficiency: Evidence from a city in northern China. *China Agricultural Economic Review*, 6(4), 654-668.
- Zeller, M., Diagne, A., & Mataya, C. (1998). Market access by smallholder farmers in Malawi: Implications for technology adoption, agricultural productivity and crop income. *Agricultural Economics*, 19(1-2), 219-229.
- Zellner, A. (1962). An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 348-368. <https://doi.org/10.1080/01621459.1962.10480664>
- Zellner, A., & Theil, H. (1962). Three-stage least squares: Simultaneous estimation of simultaneous equations. *Econometrica*, 30(1), 54-78.
- Zimmer, A. H., Macedo, M. C. M., Kichel, A. N., & Euclides, V. P. B. Integrated agropastoral production systems. In: GUIMARÃES, E. P.; SANZ, J. I.; MÉSQUITA, M. C.; THOMAS, R. J. (Ed.). *Agropastoral systems for the tropical savannas of Latin America*. Cali: CIAT; Brasília, DF: Embrapa, 2004. p. 253-290. (CIAT. Publication, 338).