

## Efeito do acesso ao crédito rural sobre a adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária

Marcelo José Carrer<sup>1</sup>

Alexandre Gori Maia<sup>2</sup>

Marcela de Mello Brandão Vinholis<sup>3</sup>

Hildo Meirelles de Souza Filho<sup>4</sup>

**Resumo:** A difusão de sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) é uma das principais estratégias de redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 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. Três estratégias econométricas foram utilizadas para tratar a endogeneidade e analisar a robustez das estimativas: i) modelo probit para equações de regressão independentes; ii) máxima verossimilhança (ML) para equações aparentemente não relacionadas (SUR – Seemingly Unrelated Regressions); e iii) mínimos quadrados em três estágios (3SLS – Three Stage Least Squares) para considerar as covariâncias dos erros entre as equações. Os resultados dos modelos SUR e 3SLS, mais robustos em decorrência da endogeneidade, 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. Já o acesso à política de crédito rural é determinado pela adoção de sistemas ILP (causalidade reversa), acesso ao seguro rural, nível de dependência da renda agropecuária e percepção de custos de transação para a obtenção de crédito. A discussão final destaca as importantes implicações desses resultados para a política de crédito rural e 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:** The diffusion of Integrated Crop Livestock Systems (ICLS) is one of the main strategies to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. 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. In order to treat the endogeneity, three econometric strategies were adopted to estimate a Simultaneous Equation System (SES): (i) the Probit model assuming independent equations; (ii) Maximum Likelihood (ML) for Seemingly Unrelated Regressions (SUR); and (iii) Three Stage Least Squares (3SLS) to consider the covariance of errors between equations. Results obtained using SUR and 3SLS models, which are considered more robust to treat endogeneity, show that there is in fact reverse causality. On one hand, access to credit and rural extension policies, production scale, and ex-ante perception about the benefits of ICLS explain adoption of these systems. On the other hand, access to rural credit policies is determined by ICLS adoption (reverse causality), access to crop insurance, dependence on farm income and farmer's perception of high transaction costs for obtaining credit. The results have important implications for rural credit policy and 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.

**Área ANPEC:** Área 11 – Economia Agrícola e do Meio Ambiente

**Classificação JEL:** Q1, Q12, Q18.

---

<sup>1</sup> Professor DIII-1 do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus São Carlos. marcelocarrer@ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Professor Livre-Docente do Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). gori@unicamp.br

<sup>3</sup> Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Pecuária Sudeste. marcela.vinholis@embrapa.br

<sup>4</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). hildo@dep.ufscar.br

## 1. INTRODUÇÃO

Na 15ª Conferência das Partes – COP15, o Brasil assumiu a meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% (equivalente a 1.168 milhões de t CO<sub>2</sub>eq e 1.259 milhões de t CO<sub>2</sub>eq, respectivamente) do total das emissões estimadas para o ano de 2020 (3.236 milhões t CO<sub>2</sub>eq). O setor agropecuário, cuja representatividade para a economia brasileira é significativa, tem a responsabilidade de contribuir ativamente com essa meta – 22,5% da meta deve ser alcançada por esse setor. Para tal, o governo federal estabeleceu, por meio do Art. 6 do Decreto nº 12.187/200, um conjunto de ações, quais sejam: (i) recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; (ii) ampliação da adoção dos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em 4 milhões de hectares; e (iii) expansão da adoção da fixação biológica de nitrogênio em 5,5 milhões de hectares de área de cultivo (MAPA, 2012).

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).<sup>5</sup>

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.<sup>6</sup> 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).<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Os sistemas de integração, quando associados a práticas de correção de fertilidade do solo e ao sistema de plantio direto, proporcionam controle mais eficiente da erosão, aumento da retenção da água e melhorias nos atributos físico-químicos e biológicos do solo resultantes da alteração do padrão de cobertura vegetal do solo e do aumento da matéria-orgânica no solo. O acréscimo na matéria orgânica promove o aumento da agregação do solo e da capacidade de troca catiônica, bem como promove maior diversidade de fungos micorrízicos de grupos da microfauna invertebrada no solo. Ainda, esses sistemas proporcionam maior capacidade de sequestro de carbono e redução na emissão de metano por quilograma de carne produzida (Vilela et al., 2011; Figueiredo et al., 2017).

<sup>6</sup> 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 – limitados a R\$ 5 milhões por produtor – para a realização de investimentos em tecnologias mitigadoras de GEE, a exemplo da adoção de sistemas ILP. A taxa de juros nominal desse programa de investimento foi de 8,5% ao ano.

<sup>7</sup> 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

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). Em uma situação de livre mercado, as instituições financeiras tenderiam a racionar recursos financeiros para os produtores rurais em decorrência de riscos e custos de transação mais altos. 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 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. Um maior conhecimento da relação entre o acesso à política de crédito rural e a adoção de tecnologias sustentáveis na agropecuária é importante não só para aumentar a qualidade da política agrícola, como também para alavancar a difusão dessas tecnologias e mitigar os efeitos da mudança climática. Portanto, as seguintes questões são de interesse para o presente estudo:

- (i) Os recursos subsidiados do crédito rural estão promovendo a adoção de tecnologias sustentáveis na agropecuária brasileira?
- (ii) Quais são os principais fatores que explicam o acesso e a utilização desses recursos subsidiados?

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. Três estratégias empíricas são utilizadas para analisar a robustez das estimativas: i) modelo probit para equações de regressão independentes; ii) máxima verossimilhança (ML) para equações aparentemente não relacionadas (SUR – Seemingly Unrelated Regressions); e iii) mínimos quadrados em três estágios (3SLS – Three Stage Least Squares) para considerar as covariâncias dos erros entre as equações.

Além dessa introdução, o artigo está dividido em quatro seções. A próxima seção aborda o funcionamento do mercado de crédito rural e 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 das análises econométricas dos determinantes da adoção de sistemas ILP e de acesso à política de crédito rural. Por fim, a última seção apresenta as conclusões e implicações do estudo.

## 2. CRÉDITO RURAL E ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS

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,

---

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).

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).

No entanto, o mercado de crédito rural apresenta algumas especificidades. As transações nesse mercado se caracterizam pela transferência presente de poder de compra dos credores (proprietários de recursos financeiros) para os mutuários (tomadores de recursos financeiros). Essas transações são pautadas na expectativa de que os recursos sejam bem alocados de forma a gerar capacidade de pagamento no futuro. A incapacidade de os credores obterem *ex ante* todas as informações relevantes acerca dos mutuários (assimetria de informação) resulta em alto custo de transação e impede que a taxa de juros atue exclusivamente como mecanismo de equilíbrio. Os riscos de produção e mercado mais altos da atividade agropecuária tornam ainda mais elevados os custos nas transações de crédito rural (Stiglitz & Weiss, 1981; Hoff & Stiglitz, 1993; Besley, 1994).

Assim, antes de realizar os empréstimos, os credores procuram obter o máximo de informações sobre o caráter e a capacidade de pagamento dos mutuários (*screening*) para reduzir a probabilidade da ocorrência de seleção adversa. Geralmente, é também exigida a contrapartida de garantias/colaterais para a liberação dos recursos. Após a liberação do crédito, os credores se preocupam em reduzir as chances de mau uso dos recursos (risco moral). Nesse sentido, normalmente são desenvolvidos mecanismos para monitorar a alocação dos recursos pelos mutuários (e.g., visitas técnicas e exigência de relatórios financeiros). Ademais, mecanismos institucionais de *enforcement* são fundamentais para garantir a execução das garantias vinculadas aos contratos de crédito em caso de não pagamento (Hoff & Stiglitz, 1993; Besley, 1994). Essas características do mercado de crédito produzem restrições na oferta e demanda dos recursos financeiros (Kochar, 1997; Boucher et al., 2009).

A literatura mais recente estabelece três tipos de restrição presentes nas transações de crédito rural: (i) restrição de quantidade/oferta; (ii) restrição de custos de transação e (iii) restrição de aversão ao risco (Boucher et al., 2009; Ali et al., 2014). A restrição de oferta/quantidade, tradicionalmente investigada, ocorre quando o credor nega a solicitação de crédito ou limita a quantidade de recursos a ser liberada em determinada transação. Por sua vez, as restrições de custos de transação e aversão ao risco levam, voluntariamente, os agricultores a não participarem do mercado de crédito (restrições de demanda). No primeiro caso, diante dos altos custos para conseguir a liberação dos recursos (custo de elaboração de projeto, de negociação dos termos do contrato, de registro de garantias, de reciprocidade bancária etc.), muitos agricultores simplesmente desistem de demandar crédito, mesmo que tenham bons projetos de investimento. No caso de aversão ao risco, diante do receio de perder as garantias solicitadas pelo credor em decorrência, por exemplo, de choques negativos de oferta no mercado do produto rural, os agricultores não solicitam recursos.

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.

Os estudos empíricos revisitados mostram efeito positivo e significativo do acesso ao crédito sobre as decisões de adoção de novas tecnologias pelos produtores. São escassos, todavia, os trabalhos que avaliam os impactos do crédito sobre a adoção de tecnologias ambientalmente sustentáveis. Nós iremos contribuir para a literatura investigando os determinantes do acesso à política de crédito rural e o efeito dos recursos subsidiados dessa política sobre as decisões de adoção de sistemas de produção sustentáveis no Brasil, especificamente sistemas ILP. O país oferece um caso único para a análise. É um dos líderes mundiais em preservação, com mais de 75% do território coberto por vegetação nativa, e parcela majoritária desta preservação se encontra em propriedades particulares. O país enfrenta pressão para aumentar a produção agrícola, essencial para superar o baixo desenvolvimento econômico, e, simultaneamente, para

preservar a sua rica biodiversidade. A adoção de sistemas ILP é uma das principais propostas para a agricultura sustentável do país, assim como o crédito subsidiado uma das principais políticas para este fim.

### 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 – 66 adotaram sistemas ILP em suas propriedades rurais e 109 não adotaram.<sup>8</sup> 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.<sup>9</sup> 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.

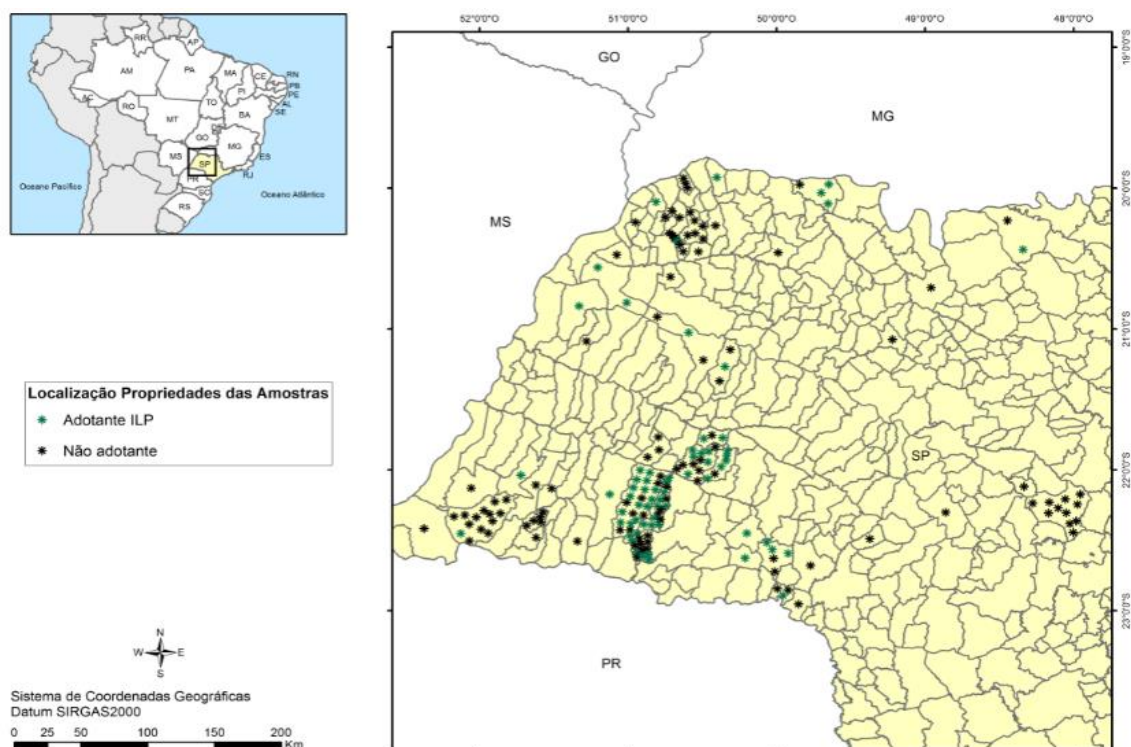
Para os 44 produtores que não acessaram crédito, foram questionados os principais motivos com possibilidade de resposta múltipla: 66% mencionaram os altos custos de obtenção de informação e negociação com o banco (restrição de custo de transação), 50% o receio de perder as garantias solicitadas pelo credor e 50% citaram a possibilidade de não conseguir pagar a despesa financeira em decorrência de choques negativos no mercado (restrições de aversão ao risco).<sup>10</sup> 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.

---

<sup>8</sup> Como os sistemas ILP ainda se encontram em estágio inicial de difusão no Brasil, não existem estatísticas oficiais sobre o número de adotantes desses sistemas. Portanto, a amostragem foi feita a partir de listas de contatos de produtores rurais junto a agências de extensão rural, associações de produtores, sindicatos rurais e cooperativas.

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> Como o governo federal estabelece limites no volume de crédito rural oficial por produtor, é plausível pressupor que todos os produtores que possuem demanda por recursos financeiros acima dos limites estabelecidos pela política sofrem restrição de quantidade.



**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. A hipótese de causalidade reversa (i.e., efeito da adoção dos sistemas ILP sobre o acesso ao crédito) também será testada. Os sistemas ILP tendem a aumentar os custos variáveis de produção, gerando maior demanda de crédito rural para custeio. Ademais, como os programas ABC e Integra SP ofertam linhas de crédito especialmente para esses sistemas, é importante testar a relação de causalidade reversa.

Quanto às variáveis exógenas dos modelos, “Next” 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 auxiliar os agricultores nos procedimentos necessários para o acesso ao crédito rural (e.g., elaboração do projeto e negociação com o banco) (Feleke & Zegeye, 2006; Abdallah, 2016; Gebremariam & Tesfaye, 2018). A extensão rural reduz ainda 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 “Next” afete positivamente a probabilidade de adoção dos sistemas ILP e de acesso ao crédito rural.

A variável “Educ” 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. Esses agricultores também tendem a compreender melhor as características de funcionamento do mercado de crédito e os procedimentos necessários para a obtenção de recursos, o que reduz a assimetria de informações e os custos nas transações de crédito rural. Espera-se, portanto, efeito positivo da variável “Edu” sobre a probabilidade da adoção de ILP e de acesso ao crédito rural.

**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 médio e/ou superior; 0 caso contrário	0,400	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	1 se relevo ondulado ou declivoso; 0 caso contrário	0,269	0,444
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
PercCred	1 para percepção de baixos custos nas transações de crédito rural; 0 caso contrário	0,800	0,401
DepAgr	Participação da renda agropecuária na renda total do produtor	0,725	0,315

A variável “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 “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).<sup>11</sup> 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.

As variáveis “ILPEnv” e “Rel” foram utilizadas como instrumentos para estimar a probabilidade de adoção de ILP. “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 – discordo totalmente; 5 – concordo totalmente) dos agricultores com relação à seguinte afirmativa: “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 ambientais. Vale destacar que, para os agricultores que adotaram sistemas

<sup>11</sup> Apesar de existirem evidências na literatura acerca da relação entre escala de produção e acesso ao crédito, utilizaremos uma variável que mede o número de propriedades com escritura como proxy para a capacidade de oferta de colaterais nos modelos de acesso ao crédito. Como essa variável tem forte correlação com a área, a variável “Logarea” não estará nas equações do crédito.



ILP, foi solicitado que considerassem a percepção antes da adoção. Assim, espera-se que, quanto maior a percepção *ex ante* de que os sistemas de integração geram benefícios econômicos e ambientais, maior a probabilidade da adoção.

A variável “Rel” é uma proxy para o relevo predominante na propriedade rural. Há evidências agrônomicas de maior dificuldade para a implantação de sistemas ILP em fazendas com predominância de relevos ondulados e declivosos. A produção de grãos é geralmente realizada em terrenos com menos de 6% de declividade, embora algumas vezes sejam usados terrenos mais declivosos (Thomas et al., 2007). O tráfego de tratores e implementos agrícolas é limitado e os custos de produção tendem a ser mais altos do que em propriedades com relevo plano. Portanto, espera-se que a variável “Rel” tenha efeito negativo sobre a probabilidade de adoção de sistemas ILP.

As variáveis “Insurance”, “PercCred”, “DepAgr” e “Nfarms” foram utilizadas como instrumentos para estimar a probabilidade do acesso ao crédito rural. A variável “Insurance” mensura o acesso dos produtores ao mercado de seguro rural. O acesso ao seguro rural reduz substancialmente o risco de inadimplência nas transações de crédito rural. Por consequência, os custos de transação tendem a ser mais baixos e a facilidade de acessar crédito tende a ser maior para os produtores que contratam seguro para a produção rural (Farrin & Miranda, 2015). Espera-se, portanto, que a utilização de seguro rural aumente a probabilidade de acesso ao crédito pelos produtores da amostra. “PercCred” é uma proxy para a percepção do produtor com relação aos custos de transação do mercado de crédito rural. A variável foi obtida a partir da concordância dos produtores com relação à seguinte afirmação: “considero simples e pouco custoso o processo de acesso ao crédito rural nos bancos e cooperativas de crédito”. Consideramos que os agricultores que concordaram com essa afirmativa possuem percepção *ex ante* de baixo custo de transação, o que, por sua vez, tende a aumentar a probabilidade de demanda e acesso ao crédito rural (Abdallah, 2016).

Com relação à variável “DepAgr”, têm-se como hipótese que agricultores com maior participação da renda agropecuária na renda total sejam mais dependentes dos recursos financeiros da política de crédito rural. Agricultores que possuem renda fora da atividade agropecuária tendem a utilizar esses recursos para financiar os investimentos na produção rural, demandando menos crédito rural formal (Adjognon et al., 2017). Assim, diante da possibilidade de substituição entre crédito rural e renda de outras atividades, espera-se efeito positivo da variável “DepAgr” sobre a probabilidade de acesso ao crédito. Adotou-se o número de propriedades com registro em cartório (“Nfarms”) como proxy para a capacidade de o produtor oferecer garantias nas transações de crédito rural. A hipoteca da propriedade rural é a forma de garantia mais utilizada nos empréstimos de crédito rural no Brasil, o que embasa a hipótese de que produtores com maior número de propriedades têm maior capacidade de oferecer garantias nas transações de crédito (Carrer et al., 2013).

### 3.2. Estratégia empírica

A relação de dupla causalidade entre a adoção de sistemas ILP e o acesso ao crédito rural pode ser representada pelo SEM:

$$\begin{aligned} s &= \alpha_1 c + \beta_1 \mathbf{x} + \delta_1 \mathbf{z}_1 + u_1 \\ c &= \alpha_2 s + \beta_2 \mathbf{x} + \delta_2 \mathbf{z}_2 + u_2 \end{aligned} \quad (1)$$

em que as variáveis  $s$  e  $c$  representam, respectivamente, a adoção de sistemas ILP e o acesso ao crédito rural; o vetor  $\mathbf{x}$  contém as variáveis exógenas comuns às duas equações; e os vetores  $\mathbf{z}_1$  e  $\mathbf{z}_2$  são as variáveis exógenas exclusivas à primeira e a segunda equação (adoção de sistemas ILP e acesso ao crédito, respectivamente). Os coeficientes dos modelos são representados por  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , e pelos vetores  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\delta_1$  e  $\delta_2$ .

Três estratégias foram adotadas para estimar esse SEM. A primeira assume que as equações são independentes e que os regressores  $s$  e  $c$  são exógenos. Neste caso, os estimadores das funções lineares obtidas por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS – Ordinary Least Squares) seriam não tendenciosos e os

mais eficientes. Entretanto, para considerar a não linearidade da relação para a variável dependente binárias das duas equações, ajustaram-se funções probit por ML (Wooldridge, 2003).

A segunda estratégia assume que  $s$  e  $c$  são endógenos e que os erros  $u_1$  e  $u_2$  são relacionados. Segundo este pressuposto, fatores não observáveis que afetam a adoção de sistemas ILP (propensão a mudanças e habilidade gerencial do produtor, por exemplo), também afetariam o acesso ao crédito. Neste caso, as estimativas foram obtidas por Máxima Verossimilhança (ML), assumindo equações aparentemente não relacionadas (SUR – Seemingly Unrelated Regressions), ou seja, que a identificação de restrições em outras equações não é levada em consideração na estimativa de parâmetros em uma equação particular (Zellner, 1962). Apesar de as estimativas de ML serem consistentes, não são assintoticamente eficientes.

A terceira estratégia pressupõe, além da endogeneidade dos regressores e correlação entre os erros, que as regressões sejam dependentes. Em outras palavras, as informações sobre as variáveis endógenas no sistema são levadas em conta para estimar as covariâncias de erros entre as equações. Foi aplicado o método de 3SLS que é assintoticamente eficiente na ausência de erro de especificação (Zellner & Theil, 1962).

Por simplicidade analítica, as duas últimas estratégias de estimação (ML-SUR e 3SLS) assumiram modelos lineares de probabilidade (LPM). O LPM é uma aproximação simples e geralmente conveniente para a probabilidade de resposta subjacente, especialmente quando se está interessado apenas em analisar os impactos líquidos médios das variáveis explicativas para as faixas intermediárias dos dados (Wooldridge, 2003).

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As estimativas dos SEM são apresentados nas Tabelas 2 (variável dependente ILP) e 3 (variável dependente Credit). Os ajustes dos modelos apresentaram-se razoáveis, com  $R^2$  variando entre 0,10 e 0,28. Deve-se considerar que modelos com variáveis dependentes binárias usualmente apresentam baixas estatísticas  $R^2$ . A estimativa da covariância dos erros ( $u_1$ ) e ( $u_2$ ) é negativa e significativa a 1%. A relação entre os erros das duas equações indica a endogeneidade das variáveis “ILP” e “Credit” e sugerem que apenas as estimativas de ML-SUR e 3SLS são consistentes.

As estimativas para os modelos Probit referem-se aos efeitos marginais médios, ou seja, a variação média na probabilidade de adoção de ILP e acesso ao crédito em função de variações marginais nos regressores. Podem, assim, ser comparadas às estimativas dos parâmetros de SUR-ML e 3SLS. A seguir, as análises dos resultados econométricos são subdivididas em fatores determinantes da adoção de sistemas ILP e fatores determinantes do acesso à política de crédito rural.

### 4.1. Determinantes da adoção de sistemas ILP

A Tabela 2 apresenta as estimativas para o modelo de determinação da variável dependente ILP. Os ajustes apresentaram estatísticas de qualidade relativamente boas, com  $R^2$  igual a 0,295 para o modelo Probit, 0,152 para o ML-SUR e 0,192 para o 3SLS. Os instrumentos utilizados para tratar a endogeneidade da variável “Credit” nos modelos ML-SUR e 3SLS foram: “Nfarms”, “Insurance”, “PercCred” e “DepAgr” (Tabela 3). A covariância significativa entre os erros das duas equações sugere as estimativas de ML-SUR e 3SLS são mais apropriadas que as do modelo Probit.

As estimativas dos coeficientes para a variável dependente ILP sugerem um impacto positivo e significativo do crédito sobre a probabilidade de adoção de ILP, corroborando a principal hipótese da pesquisa. Mantendo-se constantes os fatores de controle, a probabilidade de adoção de ILP dos produtores com acesso ao crédito seria entre 44 pontos percentuais (modelo 3SLS) e 74 pontos percentuais (modelo ML-SUR) maior que a dos produtores sem acesso ao crédito. Esse resultado está de acordo com os estudos de Zeller et al. (1998), Petrick (2004), Feleke e Zegeye (2006), Ali et al. (2014), Abdallah (2016), Abate et al. (2016) e Gebremariam e Tesfaye (2018), reforçando a importância do acesso ao crédito rural para a adoção de novas tecnologias.

**Tabela 2.** Coeficientes estimados (erros-padrão entre parênteses) para modelos econométricos de adoção de sistemas ILP.

Variable	Probit	ML-SUR	3SLS
Credit	0,098 <sup>+</sup> (,075)	0,742 <sup>**</sup> (,324)	0,442 <sup>**</sup> (,201)
Next	0,011 <sup>***</sup> (,004)	0,009 <sup>**</sup> (,005)	0,010 <sup>***</sup> (,004)
Educ23	0,095 <sup>+</sup> (,061)	0,032 (,086)	0,069 (,072)
Exper	0,002 <sup>+</sup> (,002)	0,002 (,002)	0,002 (,002)
Logarea	0,130 <sup>***</sup> (,029)	0,098 <sup>***</sup> (,031)	0,112 <sup>***</sup> (,030)
Rel	-0,177 <sup>**</sup> (,073)	-0,140 <sup>**</sup> (,063)	-0,164 <sup>**</sup> (,063)
ILPEnv	0,120 <sup>***</sup> (,028)	0,087 <sup>***</sup> (,028)	0,100 <sup>***</sup> (,025)
R-squared <sup>1</sup>	0,295	0,180	0,193
cov(u <sub>1</sub> ,u <sub>2</sub> )		-0,160 <sup>***</sup> (,060)	

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

<sup>1</sup> McFadden's pseudo R<sup>2</sup> 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. A especificidade temporal do cultivo agrícola é alta. Por exemplo, em um eventual ataque de pragas na lavoura, a janela temporal para a aplicação do inseticida e o controle da praga sem que haja perda de valor da lavoura, é muito pequena. Há operações em que a especificidade temporal é alta e a aquisição do implemento torna-se essencial para o sucesso do cultivo agrícola, a exemplo do pulverizador. 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 – 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. Ao aumentar a difusão de sistemas de produção agropecuária sustentáveis (e.g.,

sistemas ILP), esses recursos subsidiados geram um retorno socioambiental que pode suplantar os custos da política para o orçamento público.<sup>12</sup>

As variáveis “Next”, “Logarea”, “ILPEnv” e “Rel” também se mostraram importantes para explicar as decisões de adoção de sistemas ILP pelos produtores rurais. O resultado da variável “Next” indica que, em média, cada visita técnica adicional aumenta em 1 ponto percentual a probabilidade da adoção de sistemas ILP, *ceteris paribus*. Esse resultado corrobora a hipótese de que o acesso à política de extensão rural aumenta a probabilidade da adoção de novas tecnologias de produção (Feleke & Zegeye, 2006; 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.

Os parâmetros positivos e estatisticamente significativos da variável “Logarea” indicam a existência de economias de escala associadas à adoção de sistemas ILP. Considerado o modelo 3SLS, verifica-se que, em média, cada 1% de hectare adicional disponível na fazenda aumenta em 0,11 ponto percentual a probabilidade de adoção de sistemas ILP, *ceteris paribus*. 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. Portanto, a disponibilidade de terra possibilita a produção em escala maior e com custo médio mais baixo e, conseqüentemente, é determinante das decisões de adoção de sistemas ILP pelos produtores.

O resultado da variável “ILPEnv” 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. Investimentos para difundir os resultados de pesquisas e experimentos feitos com sistemas de integração são, portanto, capazes de criar incentivos para aumentar a adoção dos sistemas ILP.

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.

Por fim, os modelos estimados não apresentaram evidências de que a educação e a experiência dos produtores são significativas para determinar a adoção de sistemas ILP. Esses resultados não estão de acordo com estudos recentes sobre adoção de tecnologias na agropecuária (Tambo & Abdoulaye, 2012; Carrer et al., 2017; Vinholis et al., 2017).

#### **4.2. Determinantes do acesso à política de crédito rural**

A Tabela 3 apresenta as estimativas dos modelos para a variável dependente credit. Os ajustes também apresentaram estatísticas de qualidade relativamente boas, com  $R^2$  iguais a 0,159 para o modelo Probit, 0,119 para o ML-SUR e 0,107 para o 3SLS. Os instrumentos utilizados para tratar a endogeneidade da variável ILP nos modelos ML-SUR e 3SLS foram “Rel” e “ILPEnv”, que se mostraram estatisticamente significativas (Tabela 2).

Mantendo-se constantes os fatores de controle, a probabilidade de acesso ao crédito rural dos produtores adotantes de sistemas ILP seria aproximadamente 30 pontos percentuais maior que a dos não adotantes. Essa relação se explica por dois fatores importantes. O primeiro deles é a existência de linhas de

---

<sup>12</sup> Mensurar o custo orçamentário da política de crédito rural e o retorno social decorrente da adoção de sistemas de integração fogem ao escopo de análise desse trabalho. Trata-se, indiscutivelmente, de temas de grande relevância para estudos futuros.

crédito rural específicas para a adoção e custeio de sistemas ILP, as quais estão incluídas no programa ABC do governo federal e no programa Integra São Paulo do governo estadual. Para acessar essas linhas de crédito, os produtores precisam adotar sistemas de integração ILP ou ILPF, o que leva à causalidade reversa. O segundo fator explicativo está relacionado ao custo operacional mais alto dos sistemas ILP em comparação com a pecuária tradicional. Assim, produtores rurais com sistemas ILP em suas fazendas têm maior probabilidade de demandar crédito rural para financiar os gastos correntes da safra.

**Tabela 3.** Coeficientes estimados (erros-padrão entre parênteses) para modelos econométricos de acesso ao crédito rural.

Variable	Probit	ML-SUR	3SLS
ILP	0,111 <sup>+</sup> (,074)	0,305 <sup>**</sup> (,152)	0,308 <sup>*</sup> (,165)
Next	0,000 (,004)	-0,003 (,004)	-0,004 (,004)
Educ23	-0,031 <sup>+</sup> (,020)	0,032 (,069)	0,018 (,069)
Exper	0,150 (,121)	0,000 (,002)	0,000 (,002)
Nfarms	0,070 (,066)	-0,034 <sup>*</sup> (,018)	-0,044 <sup>**</sup> (,018)
Insurance	0,001 (,002)	0,174 <sup>**</sup> (,071)	0,185 <sup>**</sup> (,102)
PercCred	0,217 <sup>***</sup> (,068)	0,121 <sup>+</sup> (,075)	0,175 <sup>***</sup> (,069)
DepAgr	0,257 <sup>***</sup> (,095)	0,203 <sup>**</sup> (,101)	0,265 <sup>***</sup> (,098)
R-squared <sup>1</sup>	0,159	0,114	0,107
cov(u <sub>1</sub> ,u <sub>2</sub> )		-0,160 <sup>***</sup> (,060)	

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

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

A variável “Nfarms” apresentou-se significativa para explicar a probabilidade de acesso ao crédito, porém com relação contrária à esperada. Os resultados dos modelos ML-SUR e 3SLS mostram que, quanto maior o número de propriedades rurais com escritura que o produtor possui, menor sua probabilidade de acessar crédito rural. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que todos os produtores da amostra possuem, pelo menos, uma propriedade rural com escritura registrada em cartório. Assim, todos os agricultores conseguiriam obter acesso a algum contrato de crédito rural utilizando a hipoteca da propriedade rural como garantia. Como existem limites para o acesso ao crédito rural oficial por produtor (restrição extensiva), um maior número de propriedades não implica necessariamente em maior acesso ao crédito. Petrick (2004) também constatou que a disponibilidade de terra como colateral não era determinante para o acesso à política de crédito rural por agricultores da Polônia.<sup>13</sup>

O efeito positivo da variável “Insurance” corrobora com a hipótese de que crédito e seguro rural são serviços complementares. Os parâmetros estimados mostram que a probabilidade de acesso ao crédito é,

<sup>13</sup> O autor constatou que a reputação dos tomadores de crédito era muito mais importante do que a capacidade de ofertar colaterais físicos. Em nossa pesquisa não foi possível coletar variáveis proxies para a reputação dos agricultores. No entanto, acredita-se que a variável “PercCred” tenha correlação com a reputação, visto que produtores que percebem baixo custo nas transações de crédito possivelmente são aqueles com boa reputação nas instituições financeiras.

em média, 18 pontos percentuais maior para os produtores que acessam o mercado de seguro rural. O acesso ao mercado de seguro reduz o risco de perda de produção resultante de eventos climáticos extremos e, conseqüentemente, o risco de inadimplência nas transações de crédito. Dessa forma, os bancos e cooperativas de crédito tendem a facilitar o acesso para os produtores que adotam mecanismos de seguro rural, conforme constatado nos modelos econométricos estimados. Além disso, como os agricultores que fazem seguro têm baixo risco de perda de garantias por choques negativos de oferta, a restrição voluntária ao crédito por aversão ao risco tende a ser menor para esses produtores. Esses produtores tendem a demandar crédito com maior frequência e a aproveitar-se desses recursos financeiros para adotar novas tecnologias. Esse resultado está de acordo com a literatura que ressalta a importância de um mercado de seguro bem desenvolvido para aumentar o acesso ao crédito e, conseqüentemente, a adoção de novas tecnologias na agropecuária (Giné & Yang, 2009; Farrin & Miranda, 2015).

O resultado da variável “PercCred” está alinhado com a hipótese de restrição de demanda ao crédito rural em decorrência de custos de transação (Boucher et al., 2009; Ali et al., 2014). Os produtores que têm percepção *ex ante* de que o acesso ao crédito é caracterizado por altos custos de transação estão menos propensos a solicitar e, conseqüentemente, acessar os recursos da política de crédito rural. Apesar de a oferta de crédito rural ser feita no âmbito de uma política pública, os procedimentos para acessar os recursos são definidos pelos bancos e cooperativas de crédito que operacionalizam a política. Esses procedimentos não são iguais para todos os produtores; aqueles com maior probabilidade de inadimplência tendem a se deparar com custos de transação maiores, o que os afasta do mercado de crédito rural voluntariamente. Assim, supõe-se que a variável “PercCred” está correlacionada com a reputação dos agricultores nas instituições financeiras.

Por fim, verificou-se que produtores com maior dependência de renda agropecuária têm maior probabilidade de acessar crédito rural. Esse resultado está alinhado com o resultado principal do estudo de Adjognon et al. (2017). Verifica-se, portanto, que crédito e renda fora da agropecuária podem ser considerados substitutos no processo de financiamento da atividade rural.

## 5. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

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. Em decorrência da simultaneidade entre acesso ao crédito e adoção de tecnologias estimaram-se sistemas de equações por ML-SUR e 3SLS, cujos resultados são mais consistentes. Para o melhor de nosso conhecimento, esse é o primeiro estudo que investigou empiricamente a relação entre o acesso à política de crédito rural e a adoção de sistemas ILP no Brasil. Ademais, ao estimar sistemas de equações, o estudo também faz uma análise dos fatores determinantes do acesso à política de crédito rural.

O principal resultado do estudo indica que o acesso à política de crédito rural aumenta a probabilidade de adoção de sistemas ILP entre 44 pontos percentuais (modelo 3SLS) e 74 pontos percentuais (modelo ML-SUR), *ceteris paribus*. 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. A revisão de alguns fatores de restrição da oferta, a exemplo dos limites de concessão, bem como de fatores de restrição da demanda, como a capacitação de técnicos da extensão rural para a elaboração de projetos de financiamento, pode ampliar o acesso dos produtores às linhas de financiamento específicas para o fomento da adoção dos sistemas de integração.

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.

O acesso aos recursos da política de crédito rural, por sua vez, foi explicado pela adoção de sistemas ILP, número de propriedades rurais, uso de seguro rural, percepção de custos de transação e dependência da renda agropecuária. Constatou-se, portanto, que há causalidade reversa entre acesso ao crédito e adoção de sistemas ILP, o que indica que os produtores que adotam sistemas ILP têm maior probabilidade de demandar e acessar crédito para financiar as despesas de safra e investimentos.

O efeito positivo e estatisticamente significativo do uso de seguro rural sobre a probabilidade de acesso ao crédito ressalta a complementaridade entre esses dois mercados. Produtores que fazem seguro da produção rural apresentam risco menor para as instituições financeiras e, conseqüentemente, estão mais propensos a acessar recursos financeiros com custos de transação mais baixos. De fato, notou-se que os produtores que percebem a existência de altos custos nas transações de crédito têm menor probabilidade de demandar e acessar os recursos financeiros. A redução desses custos de transação, sem que isso implique em maior inadimplência, pode ocorrer via incentivos à adoção de mecanismos de hedge pelos agricultores (seguro rural, contratos a termo e futuros, etc.).

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., Guirking, 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: Microeconomic 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 – 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., Carnevalli, 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 savanas of Latin America*. Cali: CIAT; Brasília, DF: Embrapa, 2004. p. 253-290. (CIAT. Publication, 338).