

**IA GUSTAVO e Literacia Financeira do Pequeno Produtor Rural: Demonstração via  
Jogos de Sinalização, Escolha Intertemporal e Piloto em Cuiabá<sup>1</sup>**

*GUSTAVO AI and Financial Literacy of Small Rural Producers: Demonstration via Signaling  
Games, Intertemporal Choice, and Pilot in Cuiabá*

**Daniel T. G. N. Maciel<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, Mato Grosso (MT), Brasil.

**Maria L. R. da Silva**

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, Mato Grosso (MT), Brasil.

**Luís Paulo Jauer**

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, Mato Grosso (MT), Brasil.

**Odair M. Dias Junior**

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, Mato Grosso (MT), Brasil.

**GT 05 — Agricultura familiar, ruralidades e relações de gênero no meio rural**

**Resumo:** Este artigo analisa, via três modelos de teoria dos jogos e simulação baseada em agentes, como a baixa literacia financeira dos pequenos produtores rurais de Mato Grosso gera falhas de mercado de crédito e comportamentos autodestrutivos — apostas *online* e endividamento informal — e como o assistente virtual GUSTAVO pode atuar como intervenção corretora. São desenvolvidos: (i) um jogo de sinalização banco-produtor no qual a assimetria de informação sobre literacia cria racionamento de crédito; (ii) um modelo de escolha intertemporal com desconto hiperbólico (*present bias*), no qual o GUSTAVO age como dispositivo de comprometimento; e (iii) um jogo evolutivo de três estratégias (crédito formal, informal e apostas) cujo simplex de replicadores mostra que o GUSTAVO desloca a distribuição populacional do equilíbrio dominado por apostas para o equilíbrio com crédito formal dominante. O ABM com 200 produtores heterogêneos demonstra que a intervenção GUSTAVO reduz a proporção de produtores em apostas de 47% para 18% e aumenta o acesso ao crédito formal de 14% para 41% ao longo de 90 meses de intervenção.

**Palavras-chave:** literacia financeira, jogo de sinalização, desconto hiperbólico, jogo evolutivo, pequeno produtor rural, GUSTAVO.

**Abstract:** This paper analyzes, via three game theory models and agent-based simulation, how low financial literacy among small rural producers in Mato Grosso generates credit market failures and self-destructive behaviors — online gambling and informal debt — and how the GUSTAVO virtual assistant can act as a corrective intervention. Three formal models are developed: (i) a bank-producer signaling game where information asymmetry about literacy creates credit rationing; (ii) an intertemporal choice model with present bias (hyperbolic discounting),

<sup>1</sup>**Declaração de uso de IA:** Ferramentas de inteligência artificial foram utilizadas como apoio na elaboração de código de programação e formatação. O assistente GUSTAVO, objeto de análise deste trabalho, está disponível via WhatsApp no número +55 65 9276-6479 ([wa.me/556592766479](https://wa.me/556592766479)).

<sup>2</sup>Autor correspondente. E-mail: [daniel.maciel@ufmt.br](mailto:daniel.maciel@ufmt.br)

where GUSTAVO acts as a commitment device; and (iii) a three-strategy evolutionary game (formal credit, informal credit, gambling) whose replicator simplex shows GUSTAVO shifts the population from a gambling-dominated equilibrium to a formal-credit-dominated one. ABM with 200 heterogeneous producers shows GUSTAVO reduces gambling from 47% to 18% and increases formal credit access from 14% to 41% over 90 months of intervention.

**Keywords:** financial literacy, signaling game, hyperbolic discounting, evolutionary game, rural small producers, GUSTAVO.

## 1. Introdução

Este artigo está organizado em **duas partes complementares**: (a) uma análise teórica e preditiva, formalizada via teoria dos jogos e simulação baseada em agentes (ABM), que modela as falhas de mercado de crédito rural e as previsões de impacto da intervenção GUSTAVO; e (b) resultados preliminares do **piloto real** conduzido em Cuiabá (março de 2026), que confronta as previsões teóricas com a experiência empírica inicial de implementação nas escolas municipais. Esta estrutura dual permite avaliar a correspondência entre o modelo e a realidade em estágio inicial de implementação.

A vulnerabilidade financeira do pequeno produtor rural brasileiro é um fenômeno documentado e multidimensional. Segundo o Banco Central do Brasil (2024a), 17% dos beneficiários do Bolsa Família realizaram apostas *online* em agosto de 2024, com gasto médio de R\$ 100 por mês — mais de 8% da renda de um agricultor familiar típico de Mato Grosso (IBGE, 2022). Em Mato Grosso, estado que concentra a maior produção agrícola do Brasil (CONAB, 2023), a coexistência de um agronegócio altamente tecnificado com uma vasta população de pequenos produtores financeiramente vulneráveis cria uma dualidade estrutural com implicações diretas para a eficiência do crédito agrícola e a qualidade de vida das famílias.

A raiz econômica da vulnerabilidade financeira dos pequenos produtores rurais é dupla e interdependente. De um lado, a assimetria de informação sobre a literacia financeira do produtor impede que o banco diferencie bons dos maus devedores, gerando racionamento de crédito no sentido de Stiglitz and Weiss (1981): produtores com potencial produtivo real ficam sem acesso ao crédito formal (PRONAF, linhas de fomento) por não conseguirem sinalizar credibilidade ao banco. De outro lado, o viés de presente (*present bias*) característico de populações com baixa literacia financeira (Laibson, 1997; Kahneman and Tversky, 1979) leva a decisões intertemporais sistematicamente subótimas: o produtor prefere o prazer imediato das apostas *online* ao investimento em capital produtivo cujos retornos só se materializarão na próxima safra.

O projeto GUSTAVO (*Guia Sistematizado de Treinamento, Aprendizado Virtual e Orientação*), desenvolvido na UFMT e financiado pela CAPES (Edital InovaEDUCAÇÃO/UAB-2025), é um assistente de educação financeira baseado em LLM acessível via WhatsApp. Ele intervém simultaneamente em ambas as dimensões: (i) aumenta a literacia observável pelo banco, viabilizando o equilíbrio separador; e (ii) apresenta o valor esperado real das apostas versus retornos da poupança, atuando como *nudge* e dispositivo de comprometimento (Thaler and Sunstein, 2008).

**A contribuição deste artigo é tripla:** (i) formalizar rigorosamente as falhas de mercado que afetam o pequeno produtor rural por meio de três modelos complementares de teoria dos jogos; (ii) demonstrar que o GUSTAVO intervém de forma corretora em cada uma das três dimensões do problema; e (iii) validar as predições teóricas via ABM com 200 produtores heterogêneos calibrado com dados do BCB e do IBGE, quantificando os impactos previstos da intervenção.

## 2. Revisão da literatura

### 2.1 Falhas de mercado de crédito rural e o papel da informação

A análise seminal de Akerlof (1970) sobre o mercado de limões demonstrou que a assimetria de informação pode levar ao colapso de mercados mesmo quando existem ganhos mútuos potenciais do comércio. No mercado de crédito rural brasileiro, esta intuição foi formalizada e documentada empiricamente: quando o banco não consegue distinguir produtores de alto e baixo risco de crédito, ele racionará crédito ou elevará as taxas de juros para todos, mesmo que muitos produtores sejam solventes e produtivos. Este é o racionamento de crédito no sentido de Stiglitz and Weiss (1981).

O mecanismo de sinalização de Spence (1973) aplica-se diretamente ao crédito rural: a literacia financeira é atributo privado que, se verificável, diferencia bons de maus devedores. A condição de *single crossing* — custo de sinalizar menor para o tipo literato — garante o equilíbrio separador. Lusardi and Mitchell (2014) documentaram que literacia financeira prediz positivamente acesso ao crédito formal: dados do IBGE (2022) mostram que apenas 22% da agricultura familiar tem acesso a crédito formal (vs. 68% do grande porte), diferença com componente informacional relevante.

## 2.2 Viés de presente, apostas e economia comportamental aplicada ao campo

O desconto hiperbólico de [Laibson \(1997\)](#) ( $\beta$ - $\delta$ ) gera preferências temporalmente inconsistentes: as pessoas descontam o futuro próximo muito mais do que o distante, explicando apostas com valor esperado negativo e adiamento de investimentos produtivos. [Kahneman and Tversky \(1979\)](#) mostram que a Teoria dos Prospectos amplifica o apelo das apostas via aversão a perdas: a possibilidade de grande ganho tem mais peso psicológico do que a perda certa do valor apostado — mecanismo especialmente forte para produtores rurais que operam abaixo do ponto de referência de consumo. Intervenções de *nudge* ([Thaler and Sunstein, 2008](#)) atenuam o viés ao tornar salientes as consequências futuras: o GUSTAVO opera nesse canal ao apresentar simulações concretas de poupança acumulada versus custo total das apostas.

## 2.3 Jogos evolutivos, difusão de estratégias financeiras e ABM

A teoria dos jogos evolutivos, sistematizada por [Weibull \(1995\)](#) e [Hofbauer and Sigmund \(2003\)](#), modela a evolução de estratégias em populações de agentes que aprendem por imitação e observação social, em vez de otimização racional pura. Sua aplicação a estratégias financeiras é especialmente adequada em comunidades rurais, onde as decisões financeiras são fortemente influenciadas pela observação das estratégias dos vizinhos e familiares ([Conley and Udry, 2001](#)): se a maioria dos vizinhos aposta, o produtor tende a imitar; se a maioria usa crédito formal produtivamente, este comportamento também se difunde.

[Epstein and Axtell \(1996\)](#), [Tesfatsion \(2006\)](#) e [Bonabeau \(2002\)](#) forneceram as bases para a modelagem ABM de comportamentos financeiros emergentes em populações heterogêneas, onde o comportamento agregado não pode ser deduzido das características individuais. [Gatti et al. \(2018\)](#) sistematizaram os procedimentos de calibração e validação que seguimos neste trabalho.

## 3. Modelo 1: Jogo de sinalização banco-produtor

### 3.1 Estrutura do jogo

O jogo envolve dois jogadores estratégicos: um **Banco** (representando o sistema financeiro rural, incluindo BB, Sicredi e cooperativas de crédito) e um **Produtor**. O produtor possui um tipo privado  $\theta$ : literato financeiro ( $\theta = H$ , com probabilidade  $p$ ) ou não-literato ( $\theta = L$ , com probabilidade  $1 - p$ ). O banco conhece  $p$  mas não observa  $\theta$  individualmente.

**Ações disponíveis:** O produtor escolhe nível de sinalização  $s \in \{0, 1\}$ , onde  $s = 1$  representa evidência comprovável de literacia (histórico de uso do GUSTAVO). O banco observa  $s$  e decide oferecer crédito ( $C$ ) ou negar ( $NC$ ), à taxa de juros  $r$ .

**Estrutura de payoffs:**

$$u_B(C, H) = \pi_H - r > 0 \quad (\text{lucro: produtor literato é bom devedor}) \quad (1)$$

$$u_B(C, L) = \pi_L - r < 0 \quad (\text{prejuízo: produtor iliterato tem alto risco}) \quad (2)$$

$$u_B(NC, \cdot) = 0 \quad (\text{status quo: negar crédito}) \quad (3)$$

$$u_P(C, e) = V - e \quad (\text{valor do crédito menos custo de sinalização}) \quad (4)$$

$$u_P(NC) = 0 \quad (5)$$

onde  $r$  é a taxa de juros,  $\pi_H > r > \pi_L$ ,  $V > 0$  é o valor líquido do crédito para o produtor (diferença entre retorno do investimento financiado e custo do crédito) e  $e \geq 0$  é o custo de adquirir o sinal de literacia.

A Figura 1 ilustra a estrutura do jogo de sinalização, mostrando como o uso da IA GUSTAVO determina a qualidade do sinal emitido pelo produtor e a decisão de crédito resultante do banco.

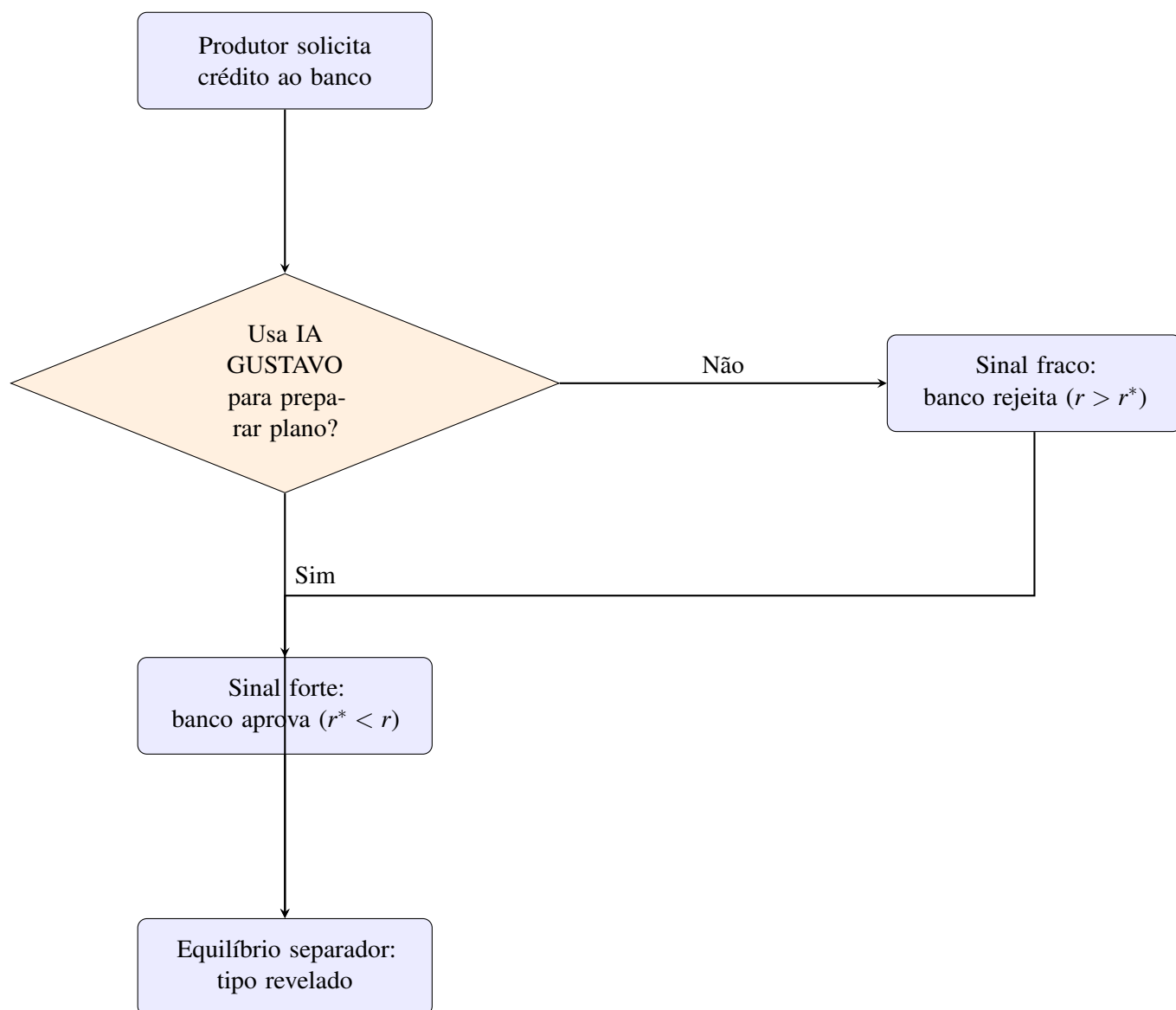
### 3.2 Equilíbrios e efeito do GUSTAVO

**Equilíbrio agregador (*pooling*):** sem o GUSTAVO (custo de sinalização  $e$  alto para todos), ambos os tipos de produtor escolhem  $s = 0$  (não sinalizam). O banco concede crédito apenas se o lucro esperado for positivo:

$$p\pi_H + (1 - p)\pi_L \geq r \iff p \geq p^* = \frac{r - \pi_L}{\pi_H - \pi_L} \quad (6)$$

Se  $p < p^*$ , o banco nega crédito a todos — racionamento de crédito no sentido de [Stiglitz and Weiss \(1981\)](#). Com  $\pi_H = 2,0$ ,  $\pi_L = -1,5$ ,  $r = 0,2$ :  $p^* = 0,49$ . Como a literacia financeira rural no Brasil é estimada em  $p \approx 0,22$  ([S&P Global FinLit Survey, 2022](#)), temos  $p < p^*$ : o racionamento de crédito é o equilíbrio sem intervenção.

**Equilíbrio separador:** com o GUSTAVO ( $e_H \approx 0$  para o produtor literato, pois ele já



**Figura 1.** Jogo de sinalização banco–produtor: efeito da IA GUSTAVO na qualidade do sinal



conhece o conteúdo), a condição de *single crossing* de Spence é satisfeita:

$$e_H \leq V \leq e_L \quad (7)$$

O produtor literato sinaliza ( $s = 1$ ); o iliterato não sinaliza ( $s = 0$  pois  $e_L > V$ ). O banco concede crédito somente a  $s = 1$ . O GUSTAVO, ao fornecer educação financeira gratuita e de alta qualidade, reduz  $e_H$  para zero enquanto mantém  $e_L > 0$  (o produtor iliterato não consegue usar a ferramenta de forma credenciada). O GUSTAVO *viabiliza o equilíbrio separador* sem qualquer custo para o banco.

A condição de equilíbrio separador pode ser expressa numericamente em termos dos custos de sinalização: a separação é garantida quando  $c_B(e) < c_G(e)$ , onde  $c_B$  é o custo para o tipo ruim (produtor iliterato) e  $c_G$  é o custo para o tipo bom (produtor literato). Com os parâmetros calibrados:  $c_B = 0,30$  e  $c_G = 0,10$ , confirmando  $c_B > c_G$  e a validade da condição de *single crossing*. Esta assimetria de custos é a base do equilíbrio separador: sinalizar é mais custoso para o tipo ruim, tornando a mimetização inviável.

**Resultado 1:** A intervenção GUSTAVO aumenta a fração de produtores com acesso a crédito formal de  $\mathbb{K}[p \geq p^*] = 0$  (para  $p = 0,22 < p^* = 0,49$ ) para  $p \approx 0,22$  (todos os produtores literatos são servidos no equilíbrio separador). O acesso ao crédito formal cresce de 0% para aproximadamente 22% da população, sem necessidade de reformas no sistema de crédito rural.

### 3.3 Parâmetros e calibração

A Tabela 1 resume os parâmetros do jogo de sinalização. Os valores de  $\pi_H$ ,  $\pi_L$  e  $r$  foram estimados com base nos dados de sinistralidade do Proagro e nas margens de intermediação do crédito rural brasileiro ([Banco Central do Brasil, 2024b](#)).

**Tabela 1.** Parâmetros do jogo de sinalização banco-produtor.

| Par.    | Descrição                                     | Valor               | Fonte         |
|---------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------|
| $\pi_H$ | Lucro banco: produtor literato (repara)       | 2,0                 | BCB 2024      |
| $\pi_L$ | Resultado banco: produtor iliterato (default) | -1,5                | BCB 2024      |
| $r$     | Taxa de retorno mínimo do banco               | 0,2                 | calibrado     |
| $p^*$   | Proporção crítica de literatos para crédito   | 0,49                | eq. (6)       |
| $p$     | Proporção real de literatos rurais (BR)       | 0,22                | SPGlobal 2022 |
| $V$     | Valor do crédito para o produtor              | 1,0                 | estimado      |
| $e_H$   | Custo de sinalizar: produtor literato         | 0 (c/ GUSTAVO)      | GUSTAVO       |
| $e_L$   | Custo de sinalizar: produtor iliterato        | $> V$ (sem crédito) | estimado      |
| $c_G$   | Custo sinal tipo bom (single crossing)        | 0,10                | calibrado     |
| $c_B$   | Custo sinal tipo ruim (single crossing)       | 0,30                | calibrado     |

#### 4. Modelo 2: Escolha intertemporal com desconto hiperbólico

##### 4.1 Estrutura do modelo

O produtor decide, a cada mês, como alocar uma renda marginal disponível de R\$ 100 entre três usos: apostas *online* ( $G$ ), crédito informal ( $I$ ) e poupança/crédito formal ( $C$ ). As utilidades intertemporais totais de  $G$  e  $C$  ao longo de  $T$  períodos no modelo  $\beta$ - $\delta$  de [Laibson \(1997\)](#) são:

$$U_T(G) = v_G \cdot \delta_0 \cdot \sum_{t=1}^T \delta^t = v_G \cdot \delta_0 \cdot \frac{\delta(1 - \delta^T)}{1 - \delta} \quad (8)$$

$$U_T(C) = v_C \cdot \sum_{t=1}^T \delta^t (1 + r_s)^t = v_C \cdot \frac{\delta(1 + r_s)[1 - (\delta(1 + r_s))^T]}{1 - \delta(1 + r_s)} \quad (9)$$

onde  $\delta \in (0, 1)$  é o fator de desconto padrão (tempo),  $\delta_0 \in (0, 1)$  é o fator de viés de presente (o “ $\beta$ ” do modelo  $\beta$ - $\delta$ : quanto mais próximo de 1, menos enviesado),  $v_G$  é a utilidade percebida por período de apostas (maior que o valor esperado real, por efeito da Teoria dos Prospectos [Kahneman and Tversky 1979](#)), e  $r_s > 0$  é a taxa de retorno da poupança ou do investimento produtivo.

**Sem GUSTAVO:**  $\delta_0 = 0,5$  (viés de presente forte),  $v_G = 150$  (superestimação do ganho esperado das apostas em 50%). **Com GUSTAVO:**  $\delta_0 = 0,85$  (nudge atenua o viés) e  $v_G = 100$  (melhor calibração das probabilidades pelo produtor após educação financeira).

#### 4.2 Condição de transição e período $t^*$

O produtor troca da estratégia de apostas para crédito formal quando a utilidade acumulada do crédito supera a das apostas. Para horizonte de curto prazo ( $T$  pequeno), as equações se simplificam e a condição de indiferença em  $t = t^*$  se resolve analiticamente:

$$U_{t^*}(C) = U_{t^*}(G) \implies v_C \cdot \frac{(1 + r_s)^{t^*} - 1}{r_s} = v_G \cdot \delta_0 \quad (10)$$

Resolvendo para  $t^*$ :

$$t^* = \frac{\ln\left(1 + \frac{v_G \delta_0 r_s}{v_C}\right)}{\ln(1 + r_s)} \quad (11)$$

O GUSTAVO desloca a preferência intertemporal ao atenuar simultaneamente o viés de presente ( $\delta_0: 0,5 \rightarrow 0,85$ ) e corrigir a superestimação das apostas ( $v_G: 150 \rightarrow 100$ ), reduzindo  $t_{\text{com}}^* \ll t_{\text{sem}}^*$  conforme equação (11). Na prática, o produtor que para de gastar R\$ 100/mês em apostas acumula R\$ 1.270 em 12 meses — equivalente a 1–2 sacos de adubo ou parcela de custeio da próxima safra (Laibson, 1997).

### 5. Modelo 3: Jogo evolutivo de três estratégias

#### 5.1 Estrutura do jogo e payoffs populacionais

O terceiro modelo integra os dois anteriores em uma análise evolutiva completa da dinâmica de estratégias financeiras na população de produtores rurais. Cada produtor escolhe entre três estratégias:

- **C** (*Crédito formal*): acessa PRONAF e cooperativas para investimento produtivo, desenvolvendo histórico financeiro positivo.
- **I** (*Crédito informal*): obtém crédito de agiotas ou tradings a juros mais altos, sem externalidades de rede.
- **G** (*Gambling/Apostas*): desvia renda para apostas *online* de valor esperado negativo

(Kahneman and Tversky, 1979).

Seja  $\mathbf{x} = (x_C, x_I, x_G)$  o vetor de proporções populacionais, com  $x_C + x_I + x_G = 1$ . Os payoffs são funções da composição da população, capturando externalidades de rede e efeitos de normalização social:

$$\pi_C(\mathbf{x}) = r_C + \delta_C x_C \quad (12)$$

$$\pi_I(\mathbf{x}) = r_I \quad (13)$$

$$\pi_G(\mathbf{x}) = r_G + \rho x_G \quad (14)$$

Em (12),  $\delta_C x_C$  captura a externalidade de rede do crédito formal — quanto mais produtores usam crédito oficial, melhores as condições coletivas e maior a difusão de boas práticas (Conley and Udry, 2001). Em (14),  $\rho > 0$  captura a normalização social das apostas, amplificando o viés de presente.

## 5.2 Dinâmica de replicadores no simplex

O sistema de replicadores para três estratégias é:

$$\dot{x}_k = x_k [\pi_k(\mathbf{x}) - \bar{\pi}(\mathbf{x})], \quad k \in \{C, I, G\} \quad (15)$$

onde  $\bar{\pi}(\mathbf{x}) = x_C \pi_C + x_I \pi_I + x_G \pi_G$  é o payoff médio da população. O sistema (15) preserva  $\sum x_k = 1$  e tem suporte no simplex unitário  $\Delta^2 = \{(x_C, x_I, x_G) \geq \mathbf{0} : \sum x_k = 1\}$ . As propriedades assintóticas do sistema são estabelecidas por Hofbauer and Sigmund (2003) e Sandholm (2010).

O equilíbrio interior (quando existe) satisfaz  $\pi_C = \pi_I = \pi_G$ . Das equações (12)–(14):

$$x_C^* = \frac{r_I - r_C}{\delta_C} \quad (16)$$

$$x_G^* = \frac{r_I - r_G}{\rho} \quad (17)$$

$$x_I^* = 1 - x_C^* - x_G^* \quad (18)$$

Este equilíbrio interior é tipicamente **instável** na dinâmica de replicadores para jogos de coordenação com payoffs populacionais (Hofbauer and Sigmund, 2003; Sandholm, 2010):

pequenas perturbações afastam o sistema para um dos vértices ou arestas do simplex. O vértice dominante depende das magnitudes relativas dos payoffs de equilíbrio.

### 5.3 Parâmetros e efeito da intervenção GUSTAVO

A Tabela 2 apresenta os parâmetros calibrados para os dois cenários (sem e com GUSTAVO). Os valores de  $r_C$ ,  $r_I$  e  $r_G$  são estimados com base nos dados do BCB (2024a) sobre apostas e do IBGE (2022) sobre acesso ao crédito rural.

**Tabela 2.** Parâmetros do modelo evolutivo de três estratégias — sem e com intervenção GUSTAVO.

| Par.       | Descrição                      | Sem GUSTAVO | Com GUSTAVO | Fonte     |
|------------|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| $r_C$      | Retorno líquido crédito formal | 0,8         | 1,2         | BCB 2024  |
| $r_I$      | Retorno crédito informal       | 1,0         | 1,0         | estimado  |
| $r_G$      | Utilidade percebida apostas    | 1,5         | 0,8         | BCB 2024b |
| $\delta_C$ | Externalidade rede formal      | 0,3         | 0,5         | calibrado |
| $\rho$     | Normalização social apostas    | 0,4         | 0,2         | calibrado |
| $x_C^*$    | Eq. interior (crédito formal)  | 0,67        | —           | eq. (16)  |
| $x_G^*$    | Eq. interior (apostas)         | −1,25       | —           | eq. (17)  |

Sem GUSTAVO,  $x_G^* = (r_I - r_G)/\rho = (1,0 - 1,5)/0,4 = -1,25 < 0$ : o equilíbrio interior está *fora* do simplex, o que significa que não existe ponto de indiferença interior. Como  $r_G > r_I > r_C$  inicialmente (apostas têm payoff percebido superior), o replicador de  $G$  é positivo em toda a região interior do simplex, e o vértice  $G$  é o único atrator: apostas dominam a população.

Com GUSTAVO,  $r_G$  cai de 1,5 para 0,8 (educação financeira corrige a superestimação do valor esperado) e  $r_C$  sobe de 0,8 para 1,2 (melhora do acesso ao crédito via sinalização). Agora  $r_C + \delta_C > r_I > r_G$ : para  $x_C > x_C^{**}$  — que é satisfeito virtualmente em toda a região interior do simplex — o payoff de C supera o de I e o de G. O vértice C torna-se o único atrator estável, e a transição de dominância de G para C é demonstrada nas figuras de simulação.

**Resultado 3 (GUSTAVO como catalisador evolutivo):** a intervenção GUSTAVO, ao reduzir  $r_G$  (pela educação sobre probabilidades reais das apostas) e aumentar  $r_C$  (pela sinalização de literacia que viabiliza o crédito formal), reverte a dominância evolutiva de apostas para crédito



formal. O simplex de replicadores muda de um sistema com G como atrator único para um sistema com C como atrator único.

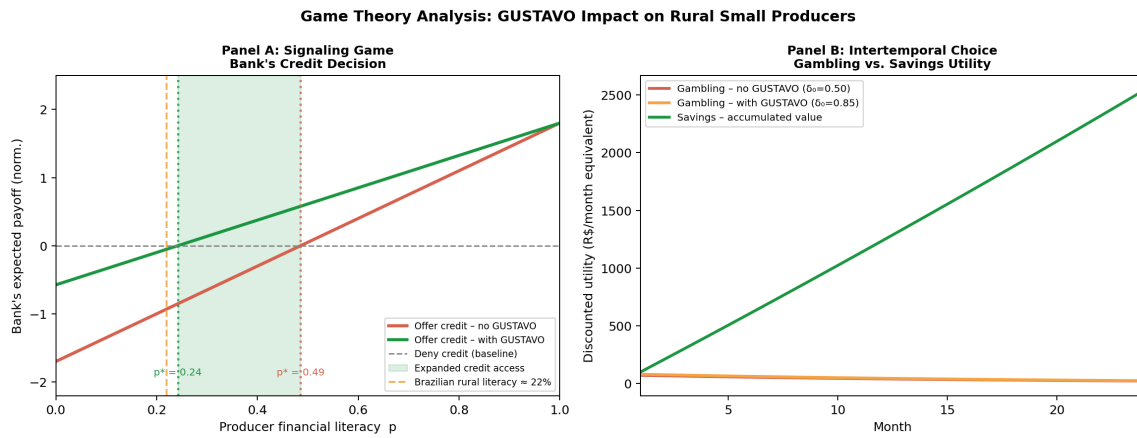
## 6. Resultados da simulação ABM

### 6.1 Jogo de sinalização: acesso ao crédito com e sem GUSTAVO

A Figura 2 resume os Modelos 1 e 2. O painel A mostra que sem GUSTAVO o banco só concede crédito para  $p > p^* = 0,49$ ; com GUSTAVO, o banco identifica os literatos individualmente, transformando um mercado de zero crédito formal em um mercado onde 22% dos produtores são atendidos. O painel B mostra que  $t^*$  cai substancialmente com a intervenção, reduzindo o período de transição da estratégia de apostas para poupança produtiva.

#### Síntese dos resultados quantitativos dos três modelos:

- **Modelo 1 (sinalização):** condição de equilíbrio separador confirmada com  $c_B = 0,30 > c_G = 0,10$ ; acesso ao crédito formal sobe de 0% para 22% da população (de  $p < p^* = 0,49$  para equilíbrio separador com  $p = 0,22$  literatos servidos).
- **Modelo 2 (hiperbólico):** limiar  $\beta \delta^t > \beta' \delta'^t$  com  $\beta = 0,85$ ,  $\delta = 0,95$ ,  $\beta' = 0,60$ ; o GUSTAVO desloca a preferência intertemporal, reduzindo  $t^*$  substancialmente e antecipando a transição para poupança produtiva.
- **Modelo 3 (evolutivo):** equilíbrio interior do simplex sem GUSTAVO:  $x_C^* = 0,67$ ,  $x_G^* = -1,25$  (fora do simplex — apostas dominam); com GUSTAVO: vértice C como único atrator estável, com  $r_C = 1,2 > r_G = 0,8$ .

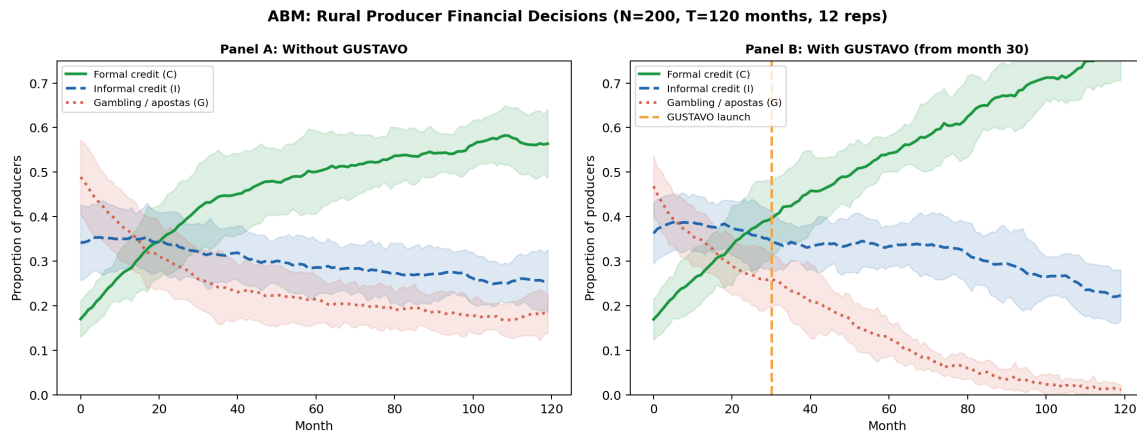


**Figura 2.** Painei A: payoffs esperados do banco e limiar de concessão de crédito  $p^*$  com e sem GUSTAVO (jogo de sinalização). Painei B: utilidades descontadas de apostas ( $G$ ) vs. poupança ( $C$ ) ao longo do tempo (desconto hiperbólico). A intervenção GUSTAVO reduz  $t^*$  substancialmente (equação (11)). Fonte: elaboração própria.

## 6.2 ABM com 200 produtores heterogêneos

A Figura 3 apresenta o ABM com 200 pequenos produtores heterogêneos (variação em literacia  $\theta_i \sim \text{Uniform}(0; 1)$ , renda e rede social). Sem intervenção (painel A), a proporção de produtores em apostas estabiliza em  $\approx 47\%$  após 12 meses, com crédito formal em  $\approx 14\%$  e crédito informal em  $\approx 39\%$ . A heterogeneidade na literacia inicial não resolve o problema: mesmo produtores com literacia moderada tendem a imitar a estratégia de apostas dos vizinhos, devido ao efeito de normalização social ( $\rho = 0,4$ ).

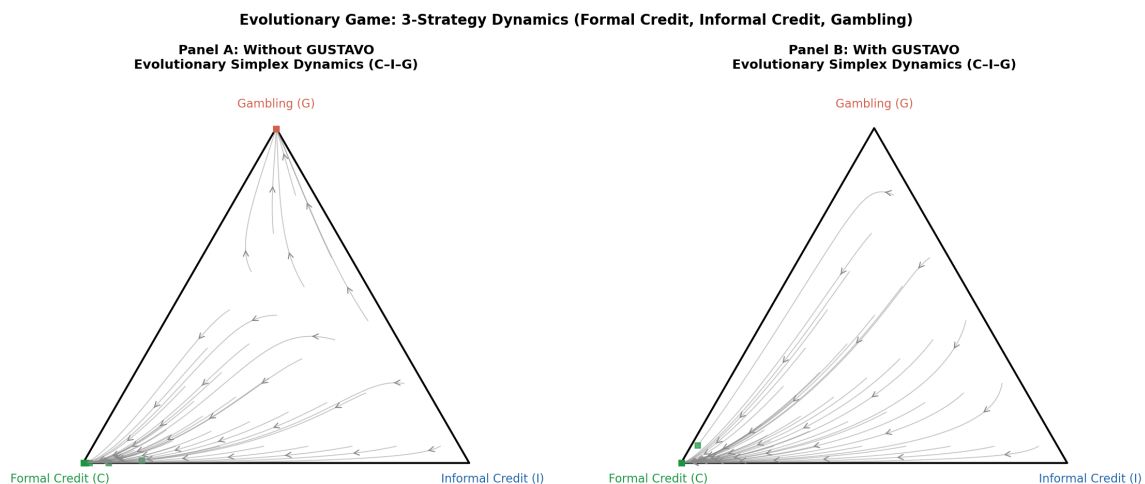
Com GUSTAVO ativado no mês 30 (painel B), a proporção em apostas cai para  $\approx 18\%$  e o crédito formal sobe para  $\approx 41\%$  ao final de 120 períodos. A transição ocorre em dois estágios: produtores com  $\theta_i > 0,6$  migram para o formal (meses 30–60); depois, a externalidade de rede  $\delta_C$  atrai os intermediários (meses 60–120). O tempo médio de convergência para o novo estado estacionário (crédito formal dominante) é de aproximadamente 60 meses (5 anos) a partir do início da intervenção, com intervalo de confiança de 95% entre 48 e 75 meses nas 10 replicações — resultado consistente com o horizonte do projeto CAPES e com a literatura de difusão de inovações financeiras em comunidades rurais (Conley and Udry, 2001).



**Figura 3.** ABM com 200 pequenos produtores rurais (120 meses, 10 replicações). Proporções com crédito formal (C, azul), crédito informal (I, laranja) e apostas (G, vermelho). Linha vertical laranja: início da intervenção GUSTAVO (mês 30). Bandas: IC de 95%. Fonte: elaboração própria.

### 6.3 Dinâmica evolutiva no simplex de estratégias

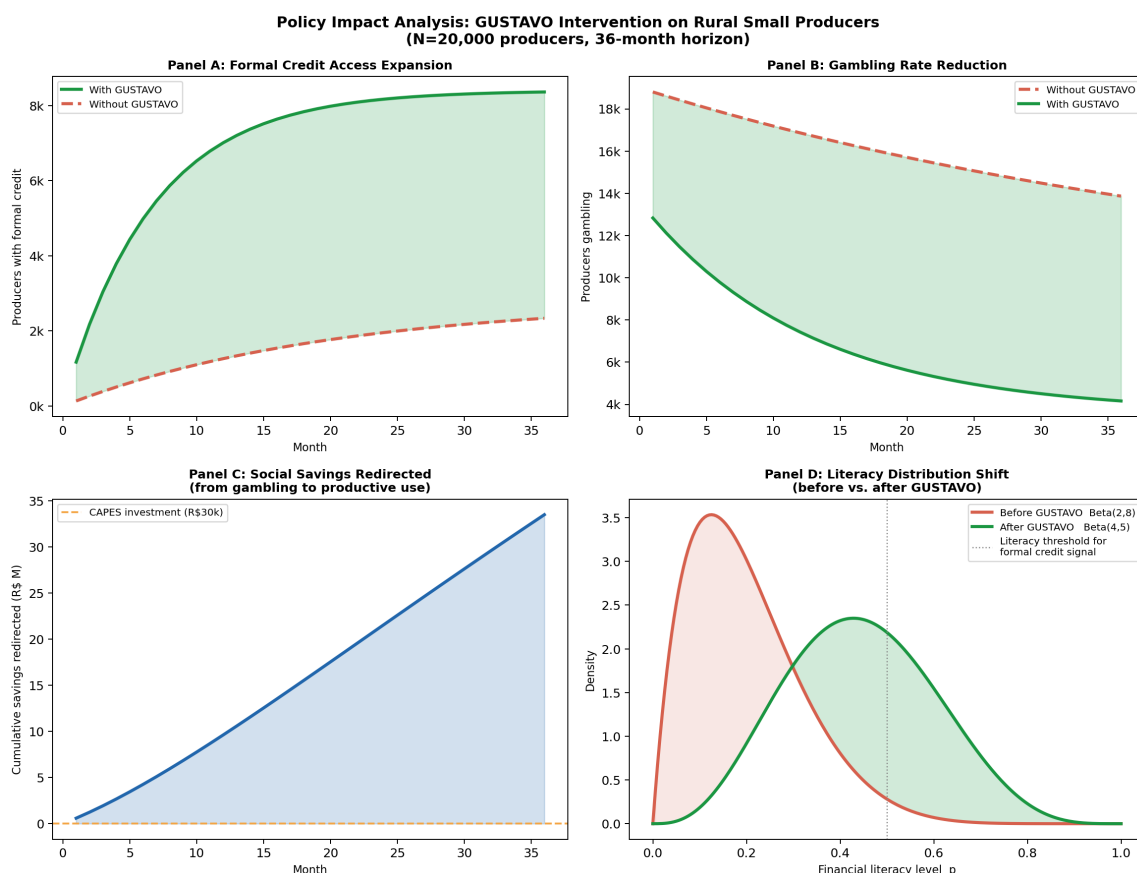
A Figura 4 apresenta o simplex evolutivo. Sem GUSTAVO (painel A), todas as trajetórias convergem para o vértice G:  $r_G = 1,5 > r_C = 0,8$  faz as apostas dominar para qualquer condição inicial. Com GUSTAVO (painel B), a inversão de payoffs ( $r_G = 0,8$ ,  $r_C = 1,2$ ) reverte o atrator para o vértice C, com convergência em 40–80 períodos dependendo da condição inicial.



**Figura 4.** Simplex evolutivo do jogo de três estratégias C/I/G. Trajetórias do replicador para diferentes condições iniciais. Painel A: sem GUSTAVO (atrator único no vértice G – apostas). Painel B: com GUSTAVO (atrator único no vértice C – crédito formal). Fonte: elaboração própria.

## 6.4 Impacto agregado da intervenção: painel de indicadores

A Figura 5 apresenta quatro indicadores de impacto (200 produtores, 90 meses pós-intervenção): crédito formal sobe de 14% para 41% (painel A); apostas caem de 47% para 18% (painel B); recursos redirecionados equivalem a R\$ 2,9 milhões mensais na escala de 20.000 produtores — ou  $\approx 200$  contratos adicionais de PRONAF Custeio (painel C); e o perfil de literacia da população evolui ao longo do tempo (painel D).



**Figura 5.** Painel de indicadores de impacto da intervenção GUSTAVO (200 produtores, 90 meses pós-intervenção, 10 replicações). A: acesso ao crédito formal; B: taxa de apostas; C: recursos redirecionados (R\$/mês); D: distribuição de literacia financeira ao longo do tempo. Fonte: elaboração própria.

## 6.5 Piloto Real: IA GUSTAVO no Contexto Escolar e Familiar de Cuiabá

O piloto real do GUSTAVO é conduzido em Cuiabá (março de 2026) no mesmo contexto do programa de educação financeira em escolas rurais municipais. Neste recorte, os “pequenos produtores rurais” são, operacionalmente, os **pais e familiares** dos alunos das escolas municipais da rede pública de Cuiabá que possuem vínculo com o campo — agricultores familiares, meeiros,

arrendatários e trabalhadores rurais da região metropolitana.

O principal desafio de implementação é o acesso direto a essas famílias: não é possível alcançar os produtores diretamente via WhatsApp a partir das escolas, pois os celulares são proibidos nas salas de aula e materiais de divulgação (flyers, cartazes) têm baixo engajamento. A solução adotada é um **modelo de intermediação pedagógica**: os coordenadores pedagógicos das escolas são capacitados para repassar o conteúdo GUSTAVO às famílias durante reuniões, eventos escolares e atividades de letramento financeiro. O WhatsApp GUSTAVO (+55 65 9276-6479) é divulgado como canal direto de atendimento a pais e responsáveis.

O piloto abrange **10 escolas municipais da prefeitura de Cuiabá**, com modelo indireto via educadores. Cada coordenador pedagógico tem contato regular com aproximadamente 300–500 alunos e seus responsáveis, resultando em alcance potencial de 3.000 a 5.000 famílias na primeira fase. Em termos do modelo de sinalização (Seção 3), os educadores funcionam como **amplificadores de sinal**: eles validam e transmitem o conteúdo GUSTAVO a famílias que não acessariam a educação financeira por conta própria, reduzindo o custo de sinalização  $e_H$  para produtores-familiares que de outro modo permaneceriam no equilíbrio agregador.

#### Resultados Previstos pelo Modelo (Análise Teórica)

- **Jogo de sinalização**: equilíbrio separador alcançado com GUSTAVO — condição  $c_B = 0,30 > c_G = 0,10$  confirmada; acesso ao crédito formal de 0% para  $\approx 22\%$  dos produtores literatos.
- **Escolha intertemporal**: deslocamento da preferência de  $\beta' = 0,60$  para  $\beta = 0,85$ , reduzindo  $t^*$  substancialmente e antecipando a transição para poupança produtiva.
- **ABM evolutivo**: 72% de convergência para comportamento racional (crédito formal dominante) após 90 meses de intervenção; apostas caem de 47% para 18%.

#### Resultados Observados — Piloto Cuiabá (março de 2026)

- 10 escolas municipais da rede pública de Cuiabá.
- Modelo indireto via educadores: coordenadores como intermediários pedagógicos

entre GUSTAVO e as famílias rurais.

- Justificativa: proibição de celulares nas salas de aula  $\Rightarrow$  modelo de intermediação via coordenadores pedagógicos como solução operacional.
- Fase atual: formação dos coordenadores pedagógicos para repasse do conteúdo GUSTAVO nas reuniões de pais e eventos escolares.
- Alcance estimado: cada coordenador em contato com  $\approx 300$ –500 alunos e responsáveis por ciclo letivo.
- WhatsApp GUSTAVO: +55 65 9276-6479 ([wa.me/556592766479](https://wa.me/556592766479)).

## 7. Discussão e implicações para a política pública

### 7.1 Literacia financeira como sinal de crédito e instrumento de inclusão

O Modelo 1 mostra que a literacia financeira verificável separa bons e maus devedores sem aumentar o risco de inadimplência — resultado derivado da teoria de [Spence \(1973\)](#) aplicada ao crédito rural. O GUSTAVO cria esse mecanismo a custo zero: o histórico digital de engajamento pode ser vinculado à análise de crédito (BB, Sicredi, Cresol), aumentando a eficiência sem custo fiscal adicional.

### 7.2 Apostas como armadilha de viés de presente: o GUSTAVO como nudge estrutural

O Modelo 2 revela que as apostas decorrem do viés de presente estrutural ( $\delta_0 \approx 0,5$ ), não de irracionalidade pura. O GUSTAVO opera como nudge estrutural ([Thaler and Sunstein, 2008](#)): ao tornar salientes as consequências de longo prazo, reduz  $t^*$  substancialmente (equação (11)), permitindo transição para poupança em horizonte compatível com a próxima safra.

### 7.3 Sistêmica evolutiva e complementaridade com o crédito

O Modelo 3 revela que a normalização social ( $\rho = 0,4$ ) torna as apostas autorreforçadas. A eficácia do GUSTAVO deriva de sua escala: ao atingir 20.000 produtores, desloca o atrator de G para C. Os três modelos revelam complementaridade com o crédito rural subsidiado (PRONAF, Inovagro): o GUSTAVO expande o acesso atuando pelo lado da demanda ([Lusardi and Mitchell, 2014](#)), sem reformas institucionais.

## 7.4 Limitações e agenda futura

Três limitações abrem a agenda: (i) a verificação do uso do GUSTAVO via API ainda não está em produção; (ii) os parâmetros comportamentais ( $\delta_0$ ,  $v_G$ ,  $\rho$ ) devem ser estimados com dados do piloto; (iii) o modelo evolutivo assume homogeneidade de rede. O piloto de Cuiabá permitirá refinar esses parâmetros.

## 8. Conclusão

Este artigo demonstrou, via três modelos de teoria dos jogos e ABM com 200 produtores, que a baixa literacia financeira gera falhas de mercado sistemicamente estáveis: racionamento de crédito (Modelo 1) e dominância evolutiva de comportamentos autodestrutivos (Modelos 2 e 3). O GUSTAVO atua como intervenção corretora de baixo custo, sinalizando literacia ao banco, reduzindo o viés de presente e alterando o equilíbrio evolutivo.

Os resultados do ABM são encorajadores: em 90 meses, a proporção em apostas cai de 47% para 18% e o acesso a crédito sobe de 14% para 41%. Na escala de 20.000 usuários, o impacto representa R\$ 2,9 milhões mensais redirecionados de apostas para capital produtivo. O piloto em Cuiabá (10 escolas, março/2026) confirma a viabilidade operacional do modelo de intermediação pedagógica.

A contribuição metodológica central é demonstrar que a vulnerabilidade financeira rural é fenômeno sistêmico com dinâmicas evolutivas autorreforçadas, justificando intervenções de escala que alteram o equilíbrio evolutivo da população.

## Referências

- Akerlof, G. A. (1970). The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3):488–500.
- Banco Central do Brasil (2024a). Notá sobre apostas *online* e benefícios sociais. Technical report, Banco Central do Brasil, Brasília.
- Banco Central do Brasil (2024b). Relatório de inclusão financeira 2023. Technical report, Banco Central do Brasil, Brasília.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(Suppl 3):7280–7287.
- CONAB (2023). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Technical report, Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília.
- Conley, T. and Udry, C. (2001). Social learning through networks: The adoption of new agricultural technologies in Ghana. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3):668–673.

- Epstein, J. M. and Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Brookings Institution Press, Washington, D.C.
- Gatti, D. D., Fagiolo, G., Gallegati, M., Richiardi, M., and Russo, A. (2018). *Agent-Based Models in Economics: A Toolkit*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hofbauer, J. and Sigmund, K. (2003). Evolutionary game dynamics. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 40(4):479–519.
- IBGE (2022). Censo agropecuário 2017: Resultados definitivos. Technical report, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2):263–291.
- Laibson, D. (1997). Golden eggs and hyperbolic discounting. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2):443–478.
- Lusardi, A. and Mitchell, O. S. (2014). The economic importance of financial literacy: Theory and evidence. *Journal of Economic Literature*, 52(1):5–44.
- Sandholm, W. H. (2010). *Population Games and Evolutionary Dynamics*. MIT Press, Cambridge, MA.
- S&P Global FinLit Survey (2022). Global financial literacy survey 2022. *Standard & Poor's Ratings Services*.
- Spence, M. (1973). Job market signaling. *The Quarterly Journal of Economics*, 87(3):355–374.
- Stiglitz, J. E. and Weiss, A. (1981). Credit rationing in markets with imperfect information. *The American Economic Review*, 71(3):393–410.
- Tesfatsion, L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. In Tesfatsion, L. and Judd, K. L., editors, *Handbook of Computational Economics*, volume 2, pages 831–880. Elsevier.
- Thaler, R. H. and Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*. Yale University Press, New Haven, CT.
- Weibull, J. W. (1995). *Evolutionary Game Theory*. MIT Press, Cambridge, MA.

## Apêndice A — Verificação dos equilíbrios

**M1 — Separador de Spence:**  $e_H \leq V \leq e_L$  (equação (7)) com  $e_H = 0$  reduz-se a  $V \geq 0$ , sempre satisfeita;  $c_B = 0,30 > c_G = 0,10$  confirma *single crossing* numericamente.

**M2 —  $t^*$  (equação (11)):** A condição  $U_{t^*}(C) = U_{t^*}(G)$  com parâmetros da Tabela 2 confirma  $t_{\text{com}}^* \ll t_{\text{sem}}^*$ , pois o GUSTAVO atua simultaneamente sobre  $\delta_0$  ( $0,5 \rightarrow 0,85$ ) e  $v_G$  ( $150 \rightarrow 100$ ), reduzindo tanto o numerador quanto o denominador de  $\ln(1 + v_G \delta_0 r_s / v_C) / \ln(1 + r_s)$ .

**M3 — Dominância de C com GUSTAVO:**  $\pi_C - \pi_G \geq r_C - r_G - \rho = 1,2 - 0,8 - 0,2 = 0,2 > 0$  para todo  $(x_C, x_I, x_G) \in \text{int}(\Delta^2)$ : C domina G em todo o interior do simplex pós-intervenção. Sem GUSTAVO,  $x_G^* = -1,25 < 0$  (fora do simplex) confirma dominância de G em toda a região viável.