

## Modelagem baseada em agentes, complexidade e antropologia ecológica no estudo da agrobiodiversidade.<sup>1</sup>

Juan Sebastián Felipe Olmos Núñez. Estudante de Mestrado (USP/SP)

**Palavras-chave:** Modelagem baseada em agentes, Agrobiodiversidade, Antropologia ecológica

A mudança climática e a crise da biodiversidade são só alguns dos perigos mais imediatos causados pelo impacto das ações antrópicas no planeta. Com o objetivo de afrontar as novas crises, mudanças sistêmicas e profundas são necessárias (DÍAZ *et al.*, 2019; IPBES, 2019). Nesse sentido, as abordagens que consideram as interações entre o ser humano e seu meio ambiente são cruciais.

Dentre as principais áreas dedicadas ao estudo da interação entre o ser humano e o meio ambiente, a antropologia, a ecologia, a biologia e a ciência política são as mais representativas; muitos dos debates são aprofundados especialmente pela antropologia ecológica. Em todo caso, para abordar esse objeto de estudo tão interdisciplinar é fundamental responder à pergunta sobre como considerar a imensa e crescente complexidade de relações entre o ser humano e o meio ambiente (BRONDÍZIO; ADAMS; FIORINI, 2017). Este texto procura ressaltar uma das respostas a essa pergunta: a Modelagem Baseada em Agentes.

Neste trabalho é proposta a Modelagem Baseada em Agentes como uma solução no problema da integração balanceada das variáveis ambientais, culturais, políticas e históricas no estudo da antropologia ecológica e/ou ambiental (BRONDÍZIO; ADAMS; FIORINI, 2017); aqui é sugerida a técnica de modelado computacional como uma ferramenta para o estudo das zonas limítrofes entre a antropologia e a biologia. A potencialidade do método radica nas oportunidades que abre para a antropologia, em geral, e para a antropologia que pesquisa as interações entre os humanos e não humanos, em particular. Após uma introdução sobre o tema da minha pesquisa (a agrobiodiversidade), as aproximações teóricas relevantes (sistemas socioecológicos e a complexidade) e a técnica utilizada para responder essas questões (Modelagem Baseada em Agentes), pretendo mostrar as potencialidades da

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado na 34ª Reunião Brasileira de Antropologia (Ano: 2024)

utilização desse tipo de modelagem computacional no estudo da agrobiodiversidade e nos trabalhos referentes às interações entre o ser humano e o meio ambiente.

### **Agrobiodiversidade**

Utiliza-se a agrobiodiversidade, nos mesmos contextos, para falar de duas coisas ligeiramente diferentes: primeiro, como um conjunto de variáveis relacionadas à produção agrícola e segundo, como a diversidade de variedades de uma mesma espécie agrícola. Por agora, falaremos da primeira definição. Podemos ver a agrobiodiversidade como uma característica fundamental nos sistemas agrícolas ao redor do mundo (THRUPP, 2000). Embora no passado o conceito de agrobiodiversidade estivesse limitado às plantas e animais (selvagens e domesticados) utilizados para o consumo humano (WOOD; LENNÉ, 1999), as definições mais recentes consideram também as dinâmicas sociais além das questões biológicas (PAUTASSO et al., 2013). Thrupp (2000), por exemplo, identifica sete tipos de recursos relacionados à agricultura: os recursos genéticos, os cultivos realizados pelos agricultores, o gado e todo o conjunto de animais, os organismos da terra, os organismos que controlam as pestes das plantas domesticadas, o tipo de agroecossistema usado (monocultura/policultura, cultivos em pequena ou grande escala) e os recursos “selvagens” perto dos cultivos. Assim, o conceito mais moderno de agrobiodiversidade considera não só a variedade de plantas e os recursos genéticos, mas também as formas pelas quais os agricultores manejam suas roças e todas as práticas culturais ao redor delas (EMPERAIRE; PERONI, 2007; PAUTASSO et al., 2013; THOMAS et al., 2011; THRUPP, 1998, 2000).

A consideração das conexões entre as características culturais e sociais das comunidades como variáveis importantes para o entendimento do fenômeno da agrobiodiversidade, em particular, e dos fenômenos biológicos e sociais, em geral, é o que Bruno Latour chamaria, parcialmente, de sociologia das associações (2007). Nessa perspectiva, as conexões vão além da separação entre o social e o biológico, para descrever o sistema a partir das suas relações. Assim, reconhecer a importância cultural nos processos agrícolas é uma boa forma de ligar as condições sociais e biológicas que coabitam na roça (e fora, mas perto, dela) para definir a agrobiodiversidade.

### **Sistemas socioecológicos e complexidade**

O conceito de sistemas socioecológicos (SES em inglês *Socio Ecological Systems*) é utilizado em algumas áreas da ecologia para abordar essas questões nos limites das ciências naturais e as ciências sociais. É um conceito útil para compreender e analisar as relações entre seres humanos e natureza de maneira que sejam ressaltadas as interdependências existentes entre elas (BIGGS et al., 2021). Os SES são considerados sistemas complexos adaptativos (BIGGS et al., 2021), caracterizados por apresentar comportamento emergente produzido pelas interações de sistemas sociais e ecológicos interdependentes (PREISER et al., 2018). Neste sentido, o conceito aproxima visões de autores como Latour (2007), Descola (2014) e Viveiros de Castro (2014) com a de autores como Berkes e Folke (1998), que consideram a separação entre o mundo social e o mundo natural arbitrária. A proposta conceitual procura ir além da inclusão do mundo social dentro do mundo biológico ou da adição das explicações sociais às explicações biológicas: é o entendimento e análise dos sistemas como produtos de fortes relações entre componentes que podemos caracterizar como sociais e biológicos (BIGGS et al., 2021).

Definir a agrobiodiversidade como um sistema socioecológico implica, como foi mencionado anteriormente, caracterizá-la como um sistema complexo adaptativo. Para entender a natureza de tais sistemas, mencionaremos os princípios dos SES expostos por Preiser et al. (2018) e retomados em Biggs et al. (2021). Primeiramente, os sistemas complexos adaptativos estão compostos das relações e não das características individuais: o foco da análise é a interação e não as características das partes. O segundo princípio é a importância das características adaptativas (PREISER et al., 2018). Devido à inerente conectividade dos sistemas socioecológicos, as retroalimentações são atributos fundamentais, que acabam levando o sistema a percorrer caminhos adaptativos diversos. (BIGGS et al., 2021). O terceiro princípio é a possibilidade de ausência de linearidade nas interações dentro do sistema. Isto é, o comportamento produzido pela interação entre as partes do sistema não é sempre linear e pequenas alterações podem levar a mudanças extremas nos SES; isto devido aos diferentes mecanismos de retroalimentação existentes (BIGGS et al., 2021).

O quarto princípio está relacionado à impossibilidade de delimitar o sistema. Devido à enorme quantidade de interações que um SES pode ter, a escolha de quais serão estudadas tem que considerar as perguntas ou premissas da pesquisa, pois é impossível

descrever totalmente o sistema (PREISER et al., 2018). Em outras palavras, a separação do que é e não é parte do sistema depende exclusivamente do estudo e da perspectiva do pesquisador, pois a lista de fatores relevantes é extensa<sup>2</sup>. O quinto princípio ressalta uma característica de todo sistema complexo adaptativo: a dependência do contexto. O comportamento do SES, e a ativação de seus mecanismos, depende das condições específicas do contexto. Isto é, embora existam mecanismos que possam atuar, sem as ativações específicas o sistema pode não agir (PREISER et al., 2018): o comportamento do sistema depende das formas nas quais os contextos estimulam ou não suas diferentes partes. Por exemplo, determinado sistema social pode ter a estrutura para regular o conflito com outras comunidades, no entanto, se o contexto é de guerra, deixará de lado essas regras para reformular seu comportamento. Por último, todo SES é caracterizado pela presença de fenômenos emergentes e processos complexos de causalidade. É fundamental entender que muitos sistemas socioecológicos são inerentemente imprevisíveis devido à ausência de linearidade nas interações, à evolução e à inovação do sistema. Esse último princípio faz da predição e do controle do sistema tarefas, até o momento, impossíveis.

Assim, se nosso objetivo é estudar a interação de agentes em um meio ambiente, considerando essas características dos sistemas complexos adaptativos, precisamos de uma ferramenta para nos aproximar a esses sistemas. Devido à interdisciplinaridade do tema, uma ferramenta como a Modelagem Baseada em Agentes (MBA) é uma boa opção.

### **Modelagem Baseada em Agentes**

A MBA é uma ferramenta computacional de modelagem que permite a descrição de um sistema baseado nos agentes e suas interações entre eles e com um ambiente (SAYAMA, 2015; WILENKSZY; RAND, 2015). É uma ferramenta utilizada para compreender fenômenos complexos desde uma perspectiva *bottom-up*, i.e., desde a reprodução de macrofenômenos a partir de microfenômenos (EPSTEIN; AXTELL, 1996). Em outras palavras: a MBA é uma simulação computacional de um fenômeno considerando unicamente os agentes desse fenômeno, seu ambiente e as interações entre os agentes e entre os agentes e o ambiente.

---

<sup>2</sup> Vale a pena lembrar o interlúdio de *Reensambling the Social* (2007) no qual o questionamento do aluno sobre o final da pesquisa orientada pela ANT é respondido por Latour com “quando complete as palavras necessárias para a dissertação”. Contrário a essa perspectiva, nos sistemas socioecológicos uma descrição interminável (ou arbitrariamente terminável) não faz sentido e a rede tem que ser delimitada. Os objetivos das duas aproximações são claramente diferentes.

Assim, podemos afirmar que a MBA possui três componentes importantes: agentes individuais e relativamente autônomos, espaço e tempo explícitos e um conjunto de regras de comportamento (EPSTEIN; AXTELL, 1996). Suas principais vantagens são: flexibilidade na aplicação, possibilidade de incluir mecanismos adaptativos dentro do sistema (por parte dos agentes) e a possibilidade de explicitar a heterogeneidade dos agentes (MILLER; PAGE, 2007). A MBA é um ótimo instrumento para captar sistemas descentralizados e emergentes, pois permite criar agentes cujo comportamento está orientado por regras de interação. Neste sentido, é útil para testar hipóteses que, devido à natureza do fenômeno, não podem ser testadas em experimentos; gerar e testar teorias, ao considerar variações de um mesmo fenômeno; e gerar dados que de outra forma não poderiam ser coletados.

A ênfase da MBA nas características individuais dos agentes também permite obter um maior detalhamento nos resultados (em comparação com outras ferramentas de modelagem). A MBA possibilita o entendimento do nível individual e do nível agregado, pois sendo este último produto da especificação das interações entre indivíduos, é possível observar ao mesmo tempo a história individual de cada agente e o estado final do sistema. A causalidade na MBA surge como característica emergente do sistema. Em termos gerais, a relação entre a MBA e os fenômenos observados na realidade é maior.

Porém, é necessário confirmar essa relação entre o modelo e a realidade observada. Nesse sentido, e levando em consideração o fato de que o modelo aborda questões micro e macro, a validação do modelo precisa ser feita nestes dois níveis. A microvalidação refere-se à validação dos comportamentos individuais dos agentes do modelo frente aos comportamentos individuais de agentes no mundo real; a macrovalidação, por outro lado, faz referência à comprovação de que as propriedades emergentes do modelo correspondem às propriedades emergentes do fenômeno real (WILENKSY; RAND, 2015). A esses dois processos de validação é preciso agregar a *face validation*, para mostrar se os mecanismos e propriedades do modelo são similares aos mecanismos e propriedades do fenômeno real, e a *empirical validation*, para comprovar se o modelo pode gerar dados com padrões similares aos padrões do fenômeno real (WILENKSY; RAND, 2015).

Devido à amplitude dos pressupostos e possibilidades da MBA, uma grande

variedade de áreas de pesquisa é beneficiada por esse método (SAYAMA, 2015), embora nem todos os problemas possam, nem devam, ser abordados através dela (WILENKSY; RAND, 2015). Dentro dos estudos dos sistemas socioecológicos, por exemplo, a MBA permite representar variáveis relevantes desses sistemas, incluindo os agentes humanos e biológicos e a interação entre estes (SCHLUTTER et al., 2021).

Deste modo, é possível estudar a agrobiodiversidade, entendida como um sistema complexo adaptativo, utilizando a MBA.

### **Estudo da agrobiodiversidade e o modelo TABSKIN**

A segunda definição de agrobiodiversidade compreende a variedade de uma mesma espécie em um contexto agrícola: isto é, agrobiodiversidade também pode ser o número de variedades de plantas como a mandioca, a batata, o milho ou outras em uma mesma roça ou comunidade. Essa diversidade de variedades é mensurada de duas formas diferentes: variedades genéticas e etnovariedades. As variedades genéticas são as que definem variedade segundo suas características biológicas, nesse sentido somente são consideradas análises no nível molecular (LABEYRIE; RONO; LECLERC, 2014; SADIKI et al., 2007). Por outro lado, as etnovariedades fazem referência as variedades reconhecidas pelos agricultores (EMPERAIRE; PERONI, 2007). Embora o critério das etnovariedades possa incorrer em erros de mensura (SADIKI et al., 2007), nesta pesquisa são considerados esses critérios.

No fenômeno da diversidade de variedades, ou seja, agrobiodiversidade, os estudos na área procuram entender quais são as condições sociais, ambientais, políticas e culturais que mantêm uma alta diversidade de variedades. Por isso, as pesquisas são bem interdisciplinares como seus métodos; os resultados, no entanto, variam de contexto em contexto. As conclusões de tais investigações, especialmente dos estudos de caso, são difíceis de generalizar devido à particularidade das condições (especialmente sociais).

No entanto, tem se identificado que variáveis como as condições físicas dos solos (ADEJUMOBI et al., 2022; KAWA; MCCARTY; CLEMENT, 2013; VELÁSQUEZ-MILLA et al., 2011), a influência do mercado (ADEJUMOBI et al., 2022; BAZILE; ABRAMI, [s.d.]; BELEM; BAZILE; COULIBALY, 2018; FONSECA-CEPEDA; IDROBO; RESTREPO, 2019; LLAMAS-GUZMÁN et al., 2022; PERREAULT, 2005; TESFAYE; TIRIVAYI, 2020), a idade do agricultor (DÍAZ et al., 2019; KAWA;

MCCARTY; CLEMENT, 2015), a existência de bancos de sementes (LLAMAS-GUZMÁN et al., 2022; MAHARJAN; MAHARJAN, 2018; PORCUNA-FERRER et al., 2020), as percepções do agricultor sobre o meio ambiente (MELDRUM et al., 2018; LLAMAS-GUZMÁN et al., 2022), as estratégias para lidar com as incertezas climáticas (TACCONI et al., 2022), e até a articulação comunidade-agricultor (DUTHIE-KANNIKKATT et al., 2019) são relevantes.

Adicionalmente, as atividades de troca de sementes, analisadas nesta área como redes de trocas de sementes, são uma variável fundamental na difusão de variedade e na manutenção dessa diversidade (BADSTUE et al., 2006; CALVET-MIR; SALPETEUR, 2016; CHAMBERS; BRUSH, 2010; LLAMAS-GUZMÁN et al., 2022; MCGUIRE, 2008; MUDIGERE SANNEGOWDA; GARKOTI, 2022; PAUTASSO et al., 2013; VELÁSQUEZ-MILLA et al., 2011; ZIMMERER, 1991, 2003). O parentesco, simplificado como as regras que determinam os possíveis parceiros, os lugares para morar após casamento e a herança das sementes (ou manivas), é levantado como hipóteses para explicar as diferentes formas e efeitos dessa rede de troca de sementes (CHERNELA, 1983; DELÊTRE et al., 2021; DELÊTRE; MCKEY; HODKINSON, 2011; DÍAZ-REVIRIEGO et al., 2016; LABEYRIE et al., 2016; LABEYRIE; RONO; LECLERC, 2014; LECLERC; COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2011; LLAMAS-GUZMÁN et al., 2022)

Nesse sentido, minha pesquisa está orientada na pergunta: qual é o papel do parentesco na diversidade de variedades da mandioca nas comunidades tradicionais? Para responder essa questão implemento uma modelagem baseada em agentes com o objetivo de simular o efeito, na diversidade da mandioca, de um conjunto específico de regras de casamento, localidade após casamento e herança em uma comunidade virtual. Devido à natureza da minha pergunta, a modelagem é teórica e a validação é feita em relação a dados coletados sobre níveis de agrobiodiversidade da mandioca.

A modelagem tem que considerar, nesse sentido, a reprodução no tempo de famílias, mecanismos de herança, mecanismos de escolha e de troca de variedades, características biológicas das variedades e condições ambientais. Até o momento foram realizadas as mecânicas para simular a reprodução no tempo, as condições biológicas da mandioca e as dinâmicas de herança de sementes.

Para simular a reprodução, foi realizado um modelo direto ou “Straightforward” (MENEZES et al., 2016), no qual são especificadas regras simples de reprodução para evitar o incesto (definido como reprodução fora da família composta por pais, avós, irmãos, tios e primos); no entanto, o modelo permite mudar essas regras para provar outras configurações de reprodução ou outras regras de parentesco. As características biológicas, i.e., a reprodução sexual da mandioca, também foram codificadas, embora não sejam utilizadas pelo momento. Este modelo foi chamado Modelo TABSKIN (Traditional AgroBiodiversity Simulation KINship) e é uma modificação de um modelo anterior usado para pesquisar a agrobiodiversidade (SANCHES; ADAMS; FERREIRA, 2022; SANCHES, 2019)

Na inicialização do modelo TABSKIN,  $n$  Unidades Domésticas (UDs) são criadas. Cada UD representa uma unidade familiar que está composta principalmente por um homem, uma mulher e seus filhos não casados. Depois são distribuídas cinco variedades aleatórias, identificadas com um número, em cada unidade. Em cada step do modelo as UDs procuram se reproduzir, aleatoriamente tem um filho ou uma filha e, segundo a idade, tem uma probabilidade de morrer. As UDs mortas são desconsideradas na coleção dos dados.

Para entender melhor as dinâmicas de reprodução, vamos utilizar a diagramação dos grafos-P. Em um grafo-P cada nó representa um casal e os links vão dos filhos aos pais; as características dos links representam se o filho do nó é homem ou mulher. Os grafos P são uma proposta para representar o parentesco de modo que seja possível realizar análise de redes sociais nele (BATAGELJ; MRVAR, 2008). No exemplo da figura 1, as linhas pontilhadas representam as filhas; assim, o nó 3 e 5 está composto por um homem filho do nó 9 e 10 e uma mulher filha do nó 1 e 2.

Na reprodução, a cada determinado período as UDs verificam se têm uma filha disponível para casamento. Se for o caso, procuram um esposo para elas em outras UDs. Se conseguem esposo, é criada uma UD que registra seu parentesco a respeito dos seus pais. No exemplo da figura 1, o nó 1 e 2 procuraram um esposo para sua filha e escolheram o nó 9 e 10; entre eles criaram, então o nó 3 e 5.



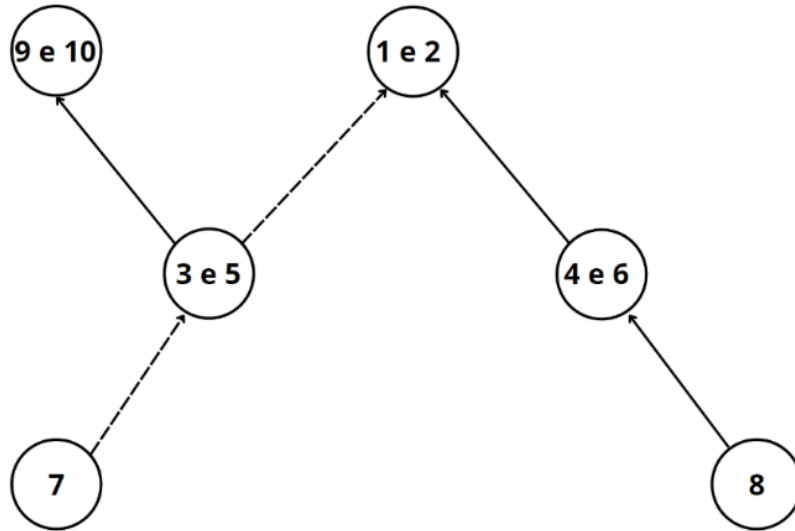


Figura 1. Grafo P. As linhas pontilhadas representam a linha materna e as cheias, a linha paterna.

A nova UD herda as sementes da UD pai ou da UD mãe dependendo do parâmetro “matrilinear” que controla a percentagem de variedades que vai herdar: por exemplo, se matrilinear é 100, a UD vai herdar 100% das variedades da UD da linha materna e 0 da UD da linha paterna; valores de 50 no parâmetro matrilinear significam uma herança do 50% das UD materna e paterna. Na figura 2 é mostrada uma genealogia tendo como ego o nó 28; as linhas vermelhas representam a linha materna e as azuis a linha paterna. Se aplicarmos ao grafo as regras do modelo, escolhendo um valor de 100 para matrilinear, o nó 28 herdaria todas as variedades maternas (do nó 3) e nenhuma variedade paterna (do nó 7). Similarmente, essas variedades seriam eliminadas do sistema pois o nó 28 não teve filhas.

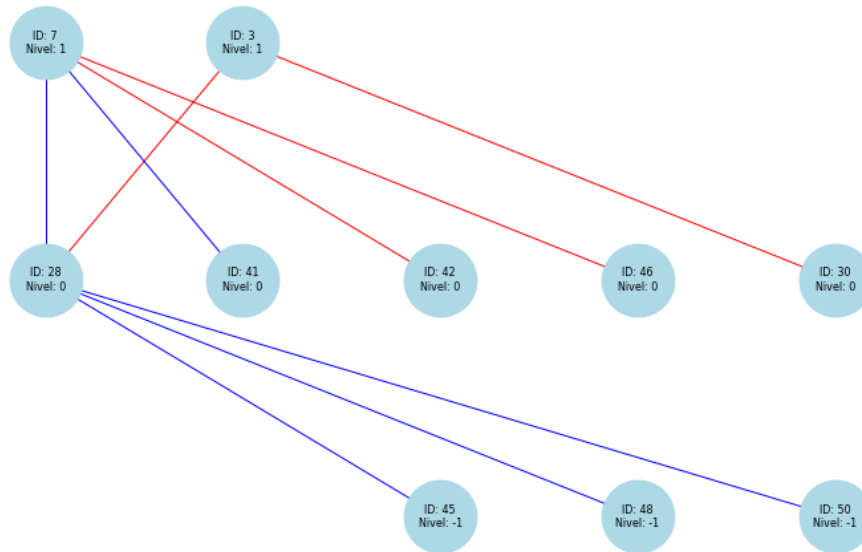


Figura 2. Grafo-P genealógico a respeito da UD 28 do modelo TABSKIN. Representa os irmãos, irmãs, filhos e pais da UD2. As linhas vermelhas representam as linhas maternas e as azuis as paternas.

Esse ciclo é repetido  $t$  vezes e são coletados os dados unicamente no nível da comunidade. No modelo não são agregadas novas variedades e as variedades não morrem; só desaparecem do sistema se não são herdadas por parte das novas UD.

Foram realizados experimentos utilizando os parâmetros da Tabela 1 e variando entre 6 valores diferentes de matrilinear, com a finalidade de testar o efeito da herança no nível de diversidade de variedades no nível da comunidade. Por cada valor foram realizados 200 experimentos e foi computada a média e o desvio padrão.

Á análise dos dados apresentados na figura 3 permite ver que, nas especificações do modelo, a herança não consegue manter a diversidade de variedades no sistema; considerando que a média de variedades de mandioca por comunidade é de 22 (SANCHES, 2019) só a herança reduz a diversidade mais do esperado no caso da mandioca. O modelo ainda não está completo pelo qual esses resultados são preliminares. No entanto, foram utilizados diferentes valores para o parâmetro matrilinear, mas em nenhum caso os valores são similares aos reais. Embora não seja um resultado inesperado, o modelo ainda pode especificar outros dados e análises posteriores sobre padrões biológicos nas variedades poderiam dar algum resultado mais específico sobre o papel da herança.

Nome do parâmetro	Valor	Explicação
Beta	0,06	Beta controla, na equação de probabilidade de morte, a inclinação da curva do momento no qual inicia a morte das variedades.
Unidades Iniciais	30	As unidades iniciais são o número inicial de unidades no modelo.
Média de filhos	4	A média de filhos é a média utilizada para gerar o número aleatório com uma distribuição de Poisson.
Matrilinear	[0, 10, 20, 30, 40 ,50]	Determinam a percentagem de variedades maternas herdadas por uma nova UD. Foram testados diferentes valores

Tabela 1. Parâmetros da simulação.

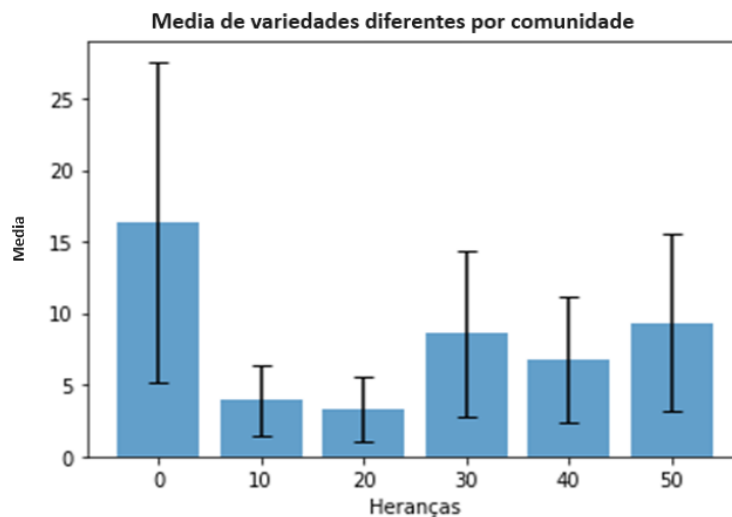


Figura 3. Média do número de variedades no nível das comunidades após 200 simulações segundo diferentes valores de matrilinear

Adicionalmente, na pesquisa ainda não foram testadas as redes de troca, a reprodução biológica das mandiocas nem as condições ambientais. Estão sendo testados outros modelos de geração de redes de parentesco, especialmente aplicações teóricas do parentesco como resposta a pressões ambientais como o modelo de Ito e Kaneko (2022) para gerar ciclos de casamento e padrões de endogamia ou exogamia.

## **Discussão**

A MBA permite testar cenários impossíveis de serem testados no mundo real. É uma ferramenta útil que tem a potencialidade de aportar nos debates teóricos e práticos da antropologia ecológica e da antropologia em geral. Planteia-se como a conexão entre teoria e prática que abre a possibilidade de analisar cenários e testar hipóteses concretas.

No caso do estudo dos sistemas socioecológicos, a MBA permite aprofundar na interação entre os seres humanos e seu entorno. As práticas das comunidades em seus territórios, especialmente registradas pela etnografia, podem ser operacionalizadas em conceitos e regras úteis para modelo facilitando assim o estudo de suas limitações e potencialidades. Pesquisas ao redor de perguntas do tipo “que condições sociais/ambientais desestabilizam os sistemas de agricultura itinerante?” Ou “quais são os possíveis limites da dinâmica de pesca na comunidade X?” podem ser aprofundadas com modelos que sejam adequados para estudar a resiliência desses sistemas. Adicionalmente, na modelagem também podem participar as comunidades. Já existem modelos baseados em agentes deste tipo (BELEM; BAZILE; COULIBALY, 2018), porém as potencialidades políticas da ferramenta ainda não foram completamente estudadas.

Na discussão teórica, além de proporcionar uma área para experimentações, a MBA e a ciência da complexidade promovem a interdisciplinaridade propondo conceitos da física e da biologia como “pontos de equilíbrio”, “transições de fase” ou “resiliência” para descrever momentos e estados dos sistemas.

No entanto, é necessário reconhecer também as limitações do método. A MBA é uma ferramenta cuja finalidade é a redução do problema a um conjunto de variáveis concretas para analisar um fenômeno específico: nem todas as características podem ser reduzidas a regras, nem todas as variáveis podem ser consideradas. No caso da agrobiodiversidade, por exemplo, uma grande quantidade de aspectos qualitativos (como as histórias concretas das variedades) não podem ser considerados. Similarmente, considerar muitas variáveis, ainda que fosse uma modelagem de um caso específico, aumentaria a complexidade do problema.

## **Conclusão**

No presente trabalho foi apresentada a Modelagem Baseada em Agentes como uma proposta metodológica útil no estudo das interações entre o ser humano e seu

ambiente. Por meio da aplicação da técnica no estudo da diversidade de variedades da mandioca, foi comprovada a sua utilidade. No final foram discutidas outras potencialidades no aspecto teórico e suas limitações inerentes.

## Bibliografia

- ADEJUMOBI, I. I. et al. Diversity, trait preferences, management and utilization of yams landraces (*Dioscorea* species): an orphan crop in DR Congo. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 2252, 10 fev. 2022.
- BADSTUE, L. B. et al. Examining the Role of Collective Action in an Informal Seed System: A Case Study from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. **Human Ecology**, v. 34, n. 2, p. 249–273, abr. 2006.
- BATAGELJ, V.; MRVAR, A. Analysis of Kinship Relations With Pajek. **Social Science Computer Review**, v. 26, n. 2, p. 224–246, maio 2008.
- BAZILE, D.; ABRAMI, G. Perspectives of modelling the farmer' seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali. [s.d.].
- BELEM, M.; BAZILE, D.; COULIBALY, H. Simulating the Impacts of Climate Variability and Change on Crop Varietal Diversity in Mali (West-Africa) Using Agent-Based Modeling Approach. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 21, n. 2, p. 8, 2018.
- BERKES, F.; FOLKE, C. (EDS.). **Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience**. Transferred to digital printing ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1998.
- BIGGS, R. et al. **The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems**. 1. ed. London: Routledge, 2021.
- BRONDÍZIO, E.; ADAMS, R. T.; FIORINI, S. History and scope of environmental anthropology. Em: KOPNINA, H.; SHOREMAN-OUIMET, E. (Eds.). **Routledge handbook of environmental anthropology**. Routledge international handbooks. London New York, NY: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.
- CALVET-MIR, L.; SALPETEUR, M. Humans, Plants, and Networks. **Environment and Society**, v. 7, n. 1, p. 107–128, 1 set. 2016.
- CHAMBERS, K. J.; BRUSH, S. B. Geographic Influences on Maize Seed Exchange in the Bajío, Mexico. **The Professional Geographer**, v. 62, n. 3, p. 305–322, 24 jun. 2010.
- CHERNELA, J. M. 9. Os cultivares de mandioca na área do Uaupés (Tukáno). 1983.
- DELÊTRE, M. et al. Kinship networks of seed exchange shape spatial patterns of plant virus diversity. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 4505, 23 jul. 2021.
- DELÊTRE, M.; MCKEY, D. B.; HODKINSON, T. R. Marriage exchanges, seed exchanges, and the dynamics of manioc diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 45, p. 18249–18254, 8 nov. 2011.
- DESCOLA, P. **La selva culta Simbolismo y praxis en la ecología de los Achuar**. Lima: Institut français d'études andines, 2014.
- DÍAZ, S. et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. **Science**, v. 366, n. 6471, p. eaax3100, 13 dez. 2019.
- DÍAZ-REVIRIEGO, I. et al. Social organization influences the exchange and species richness of medicinal plants in Amazonian homegardens. **Ecology and Society**, v. 21, n. 1, p. art1, 2016.
- DUTHIE-KANNIKATT, K. et al. Sowing the seeds of resilience: a case study of community-based Indigenous seed conservation from Andhra Pradesh, India. **Local Environment**, v. 24, n. 9, p. 843–860, 2 set. 2019.
- EMPERAIRE, L.; PERONI, N. Traditional Management of Agrobiodiversity in Brazil: A Case Study of Manioc. **Human Ecology**, v. 35, n. 6, p. 761–768, 2007.
- EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing artificial societies: social science from the bottom up**. Washington, D.C: Brookings Institution Press, 1996.

- FONSECA-CEPEDA, V.; IDROBO, C. J.; RESTREPO, S. The changing chagras: traditional ecological knowledge transformations in the Colombian Amazon. **Ecology and Society**, v. 24, n. 1, p. art8, 2019.
- ITAO, K.; KANEKO, K. Emergence of kinship structures and descent systems: multi-level evolutionary simulation and empirical data analysis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 289, n. 1969, p. 20212641, 23 fev. 2022.
- KAWA, N. C.; MCCARTY, C.; CLEMENT, C. R. Manioc Varietal Diversity, Social Networks, and Distribution Constraints in Rural Amazonia. **Current Anthropology**, v. 54, n. 6, p. 764–770, dez. 2013.
- LABEYRIE, V. et al. Seed exchange networks, ethnicity, and sorghum diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 1, p. 98–103, 5 jan. 2016.
- LABEYRIE, V.; RONO, B.; LECLERC, C. How social organization shapes crop diversity: an ecological anthropology approach among Tharaka farmers of Mount Kenya. **Agriculture and Human Values**, v. 31, n. 1, p. 97–107, mar. 2014.
- LATOUR, B. **Reassembling the social: an introduction to Actor-Network-Theory**. 1. publ. in pbk ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 2007.
- LECLERC, C.; COPPENS D'EECKENBRUGGE, G. Social Organization of Crop Genetic Diversity. The  $G \times E \times S$  Interaction Model. **Diversity**, v. 4, n. 1, p. 1–32, 21 dez. 2011.
- LLAMAS-GUZMÁN, L. P. et al. Seed Exchange Networks of Native Maize, Beans, and Squash in San Juan Ixtenco and San Luis Huamantla, Tlaxcala, Mexico. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 3779, 23 mar. 2022.
- MAHARJAN, S.; MAHARJAN, K. Roles and contributions of community seed banks in climate adaptation in Nepal. **Development in Practice**, v. 28, n. 2, p. 292–302, 17 fev. 2018.
- MCGUIRE, S. J. Securing Access to Seed: Social Relations and Sorghum Seed Exchange in Eastern Ethiopia. **Human Ecology**, v. 36, n. 2, p. 217–229, abr. 2008.
- MELDRUM, G. et al. Climate change and crop diversity: farmers' perceptions and adaptation on the Bolivian Altiplano. **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, n. 2, p. 703–730, abr. 2018.
- MENEZES, T. et al. New Simulation Techniques in Kinship Network Analysis. **Structure and Dynamics: eJournal of Anthropological and Related Sciences**, v. 9, n. 2, 2016.
- MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life**. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 2007.
- MUDIGERE SANNEGOWDA, U. B.; GARKOTI, S. C. Traditional community-led seed system for maintaining crop vigour, diversity and socio-cultural network in view of the changing climate: a case study from western Himalaya, India. **Climate Action**, v. 1, n. 1, p. 19, 17 ago. 2022.
- PAUTASSO, M. et al. Seed exchange networks for agrobiodiversity conservation. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 1, p. 151–175, jan. 2013.
- PERREAULT, T. Why Chacras (Swidden gardens) Persist: Agrobiodiversity, Food Security, and Cultural identity in the Ecuadorian Amazon. **Human Organization**, v. 64, n. 4, p. 327–339, dez. 2005.
- PORCUNA-FERRER, A. et al. Do community seed banks contribute to the social-ecological resilience of communities? A case-study from western Guatemala. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 18, n. 3, p. 232–249, 3 maio 2020.
- PREISER, R. et al. Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, p. art46, 2018.
- SADIKI, M. et al. 3. Variety Names: An Entry Point to Crop Genetic Diversity and Distribution in Agroecosystems? Em: **3. Variety Names: An Entry Point to Crop Genetic Diversity and Distribution in Agroecosystems?** [s.l.] Columbia University Press, 2007. p. 34–76.
- SANCHES, V.; ADAMS, C.; FERREIRA, F. F. An integrated model to study varietal diversity in traditional agroecosystems. **PLOS ONE**, v. 17, n. 1, 28 jan. 2022.
- SANCHES, V. H. **Modelagem Baseada em Agentes para o estudo da Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais**. Mestrado em Sistemas Complexos—São Paulo: Universidade de São Paulo, 17 dez. 2019.

- SAYAMA, H. **Introduction to the modeling and analysis of complex systems**. Deluxe color ed ed. Geneseo, NY: Open SUNY Textbooks, Milne Library, 2015.
- SCHLUTTER, M. et al. Agent-based modelling. Em: BIGGS, R. et al. (Eds.). **The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems**. 1. ed. London: Routledge, 2021. p. 383–399.
- TACCONI, F. et al. Drivers and constraints of on-farm diversity. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 1, p. 2, fev. 2022.
- TESFAYE, W.; TIRIVAYI, N. Crop diversity, household welfare and consumption smoothing under risk: Evidence from rural Uganda. **World Development**, v. 125, p. 104686, jan. 2020.
- THOMAS, M. et al. Seed exchanges, a key to analyze crop diversity dynamics in farmer-led on-farm conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 3, p. 321–338, mar. 2011.
- THRUPP, L. A. **Cultivating diversity: agrobiodiversity and food security**. Washington, DC: World Resources Institute, 1998.
- THRUPP, L. A. Linking Agricultural Biodiversity and Food Security: The Valuable Role of Sustainable Agriculture. **International Affairs (Royal Institute of International Affairs 1944-)**, v. 76, n. 2, p. 265–281, 2000.
- VELÁSQUEZ-MILLA, D. et al. Ecological and socio-cultural factors influencing in situ conservation of crop diversity by traditional Andean households in Peru. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 7, n. 1, p. 40, dez. 2011.
- VIVEIROS DE CASTRO, E. B. **La mirada del jaguar: introduccion al perspectivismo amerindio ; entrevistas**. 1. ed ed. Buenos Aires: Tinta Limón, 2014.
- WILENKSY, U.; RAND, W. **An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo**. Cambridge, Massachusetts: THE MIT Press, 2015.
- WOOD, D.; LENNÉ, J. M. (EDS.). **Agrobiodiversity: characterization, utilization and management**. Wallingford: CABI Publishing, 1999.
- ZIMMERER, K. S. The Regional Biogeography of Native Potato Cultivars in Highland Peru. **Journal of Biogeography**, v. 18, n. 2, p. 165, mar. 1991.
- ZIMMERER, K. S. Geographies of Seed Networks for Food Plants (Potato, Ulluco) and Approaches to Agrobiodiversity Conservation in the Andean Countries. **Society & Natural Resources**, v. 16, n. 7, p. 583–601, ago. 2003.