

# MODELAGEM BASEADA EM AGENTES PARA O ESTUDO DA EMERGÊNCIA DE AGROBIODIVERSIDADE EM COMUNIDADES TRADICIONAIS: UM ESTUDO SOBRE A MANDIOCA

Vitor H. Sanches<sup>1,2</sup>, Cristina Adams<sup>1</sup> e Fernando F. Ferreira<sup>1</sup>

1. Escola de Artes Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo. Rua Arlindo Bettio, 1000, São Paulo, SP, Brasil.

2. Email: [vitor.hirata.sanches@usp.br](mailto:vitor.hirata.sanches@usp.br)

## Introdução

A agrobiodiversidade têm sido amplamente estudada na literatura recente, havendo uma crescente preocupação com sua rápida redução global e com as suas consequências. Em comunidades tradicionais que dependem da agricultura para a sua subsistência, esta perda tem sido acentuada, trazendo graves consequências para a segurança e soberania alimentar destas comunidades (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009; THRUPP, 2000). Assim sendo, é essencial que entendamos melhor os mecanismos que possibilitam o surgimento e a circulação da agrobiodiversidade nestas comunidades, e sua ligação com a dinâmica social e ecológica, para contribuir com a formulação de estratégias e programas de manutenção *in situ* da mesma. Em particular, para este estudo optou-se por focar na agrobiodiversidade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), dada a grande importância deste cultivo para comunidades locais no Brasil (ADAMS et al. 2006), e o grande número de estudos e dados já existentes (por ex., EMPERAIRE e PERONI, 2007; LIMA et al, 2012; KAWA et al, 2013). Por tratar-se de um estudo em andamento, serão aqui apresentadas a fundamentação teórica e a metodologia.

A agrobiodiversidade é entendida aqui como um conceito que abarca múltiplos elementos, como a diversidade de espécies e variedades cultivadas, os organismos que atuam sobre as plantações (animais e microorganismos), a composição da paisagem e também as práticas culturais de plantio (FAO, 1999; JACKSON et al, 2007; SANTILLI, 2009). Ela é uma das bases do modo de produção em comunidades horticultoras tradicionais (SANTILLI, 2009; THRUPP, 2000) e elevados níveis de agrobiodiversidade são observados em inúmeros casos estudados (EMPERAIRE e PERONI, 2007; LIMA et al, 2012; KAWA et al, 2013).

Ela é um importante mecanismo para lidar com o risco, tornando a roça mais resiliente a eventos como pragas e doenças, ou adversidades climáticas (FOLKE, 2006; LIN, 2011). Ela também fornece serviços ecossistêmicos como polinização, fertilização, aprimoramento dos nutrientes, manejo de insetos e doenças e retenção de água (THRUPP, 2000; JACKSON et al, 2007). Ademais, a agrobiodiversidade se constitui como parte das práticas culturais e de reconhecimento identitário destas comunidades, que historicamente se constituíram e se organizaram segundo suas práticas agrícolas, sendo inclusive um traço do processo de domesticação agrícola por elas realizada (MARTINS, 2005).

Desde a segunda metade do século XX, com o aumento da exposição das comunidades locais ao mercado, a expansão da revolução verde e das plantas geneticamente modificadas (OGM), e o incentivo

financeiro para as práticas de agricultura intensiva, a agrobiodiversidade tem entrado em declínio, com comunidades deixando de plantar as variedades locais e passando a adotar poucas variedades comerciais (PAUTASSO et al, 2013; THOMAS et al, 2011; THRUPP, 2000). As consequências incluem queda na produção, que resulta no surgimento e agravamento de problemas relacionados à fome (THRUPP, 2000). Além da ameaça à segurança alimentar, a redução da agrobiodiversidade também prejudica a soberania alimentar destas comunidades, ao tornar seus sistemas produtivos mais dependentes de fatores externos (ALTIERI, 2012).

A mandioca é um cultivo nativo da América do Sul e um dos mais importantes para muitas sociedades tradicionais (ADAMS et al. 2006, ELIAS et al, 2004; RIVAL e MCKEY, 2008), sendo caracterizada por grande agrobiodiversidade associada, chegando à dezenas de variedades diferentes por comunidade (ELIAS et al, 2004; EMPERAIRE e PERONI, 2007; KAWA et al, 2013; RIVAL e MCKEY, 2008). Ela é uma espécie propagada vegetativamente, porém seu manejo e morfologia fazem com que parte dos cultivares sofre reprodução sexuada, sem intervenção humana (LIMA et al, 2012; MARTINS, 2005; RIVAL e MCKEY, 2008), sendo o principal fator responsável pelo surgimento de variabilidade genética da mandioca (MARTINS, 2005, LIMA et al, 2012). Outra prática essencial para a existência da agrobiodiversidade são as redes de troca de sementes ou material reprodutivo (germoplasma), que possui um forte papel na circulação de variedades dentro e fora das comunidades, atuando de modo a difundir as variedades mais adaptadas e distribuir variedades geradas localmente (LIMA et al, 2012; PAUTASSO et al, 2013; THOMAS et al, 2011).

Outra contribuição relevante para entender a agrobiodiversidade de mandioca é dada a partir do conhecimento das próprias comunidades, do etnoconhecimento. Dentro das comunidades existem múltiplos critérios adotados para a seleção de material genético (estacas), que possibilitam compreender o funcionamento do sistema agrícola tradicional (BRUSH, 2004; EMPERAIRE e PERONI, 2007). Existem diversos critérios para a seleção de sementes apontados na literatura, tanto aqueles que envolvem a otimização da produção, quanto critérios de ordem social e cultural. Na primeira categoria incluem-se, por exemplo, a escolha de plantas com maior rendimento, mais adaptáveis ao meio ou com maior quantidade de partes utilizáveis. Já na segunda incluem-se por exemplo critérios estéticos, religiosos ou simbólicos (BRUSH, 2004; EMPERAIRE e PERONI, 2007; VETETO e SKARBØ, 2009).

Neste sentido, nos propomos a responder as seguintes perguntas: 1. Qual é a importância dos mecanismos biológicos (seleção natural, mutações, reprodução sexuada e assexuada) para a produção e reprodução da agrobiodiversidade de mandioca em sistemas agrícolas tradicionais? 2. Qual é a importância dos mecanismos sociais (relações de parentesco, amizade, etc.) para a produção, reprodução e circulação da agrobiodiversidade de mandioca em sistemas agrícolas tradicionais? 3. Qual é a importância dos mecanismos de escolhas individuais dos agricultores para a produção e reprodução da agrobiodiversidade de mandioca em sistemas agrícolas tradicionais?

## Material e Métodos

Para responder às perguntas acima, optou-se pela utilização de modelos baseados em agentes (MBA). Eles serão utilizados para gerar modelos matemáticos e simular a dinâmica de cultivo de mandioca em comunidades tradicionais. A importância da colaboração interdisciplinar para melhor entender os complexos problemas sócio-ecológicos é cada vez mais enfatizada (FOLKE, 2006), o que também ocorre nos debates sobre agrobiodiversidade, conforme sugerido por PAUTASSO et al (2013) e MALÉZIEUX (2009). O caráter inovador deste projeto reside na parametrização do modelo a partir de dados empíricos, em oposição aos estudos hipotéticos e experimentais (*toy models*), mais frequentes na literatura.

Até recentemente, limitações tecnológicas impunham restrições ao uso de modelos computacionais avançados para a análise de sistemas sócio-ecológicos complexos. No entanto, novas ferramentas de análise já permitem explorar o comportamento destes sistemas através da condução de simulações. Estes modelos permitem a geração de regularidades comunitárias a partir de interações entre agentes locais (MACY e WILLE 2002), que interagem e trocam informações de uma forma descentralizada (BERGER 2001). As simulações com os agentes permitem compreender como uma agregação de comportamentos individuais leva ao surgimento de comportamentos e propriedades complexos numa escala mais ampla (BERGER 2001, LIMA 2013).

A modelagem baseada em agentes é caracterizada por sistemas com muitos agentes e com três elementos fundamentais: os próprios agentes, o ambiente, e as regras de interação (MACAL e NORTH, 2005; RAMALINGAM et al. 2008; SAYAMA, 2015). Para isto, são definidos agentes dotados de atributos e são estabelecidas regras de interação entre eles, dos agentes com o ambiente e de evolução do ambiente *per se*. O sistema é então simulado, observando-se os resultados *macro* (como a agrobiodiversidade) surgidos das interações no nível *micro* que foram previamente definidas. Ou seja, os comportamentos dos sistemas surgem *bottom-up*, o que transformou a MBA na principal ferramenta para a investigação de fenômenos emergentes (BONABEAU, 2002). A MBA é mais adequada quando as interações entre os agentes são não lineares, complexas e discretas; quando a espacialidade tem um papel importante no sistema; quando a população é heterogênea; quando a rede de interações é complexa; e quando os agentes exibem comportamentos complexos como aprendizagem e adaptação. Todas estes fatores estão presentes nos sistemas agrícolas tradicionais e serão incorporados ao modelo, que pretende fazer emergir a agrobiodiversidade (BONABEAU, 2002).

Outra metodologia utilizada conjuntamente à MBA será a análise e dinâmica de redes sociais, que permite modelar como ocorrem as interações entre os agentes, trazendo mais realidade ao modo como ocorrem as interações (BONABEAU, 2002; MACAL e NORTH, 2005). A análise de redes sociais é utilizada para perguntas de cunho social e comportamental, através do estudo direto de como as relações sociais entre os indivíduos se apresentam (WASSERMAN e FAUST, 1994). Nestas análises serão calculadas métricas locais e globais que darão informações sobre a rede, por exemplo sobre quais agentes são mais

centrais ou quão densa e clusterizada é a rede (NEWMAN 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994). No caso deste trabalho, estas métricas trarão informações importantes para entender como as redes são formadas e como elas são afetadas por fatores externos.

Por fim, após a elaboração do modelo, o mesmo será validado através da análise de sensibilidade, segundo Windrum et al. (2007). Nesta análise o modelo é contraposto, por calibração indireta, com fatos estilizados (representações simplificadas de relações e resultados empíricos), que são utilizados para comparar o modelo com alguns resultados esperados e restringir o valor de parâmetros. O modelo teórico também será aplicado a um caso empírico concreto para validação, utilizando dados coletados em comunidades Caiçaras da região da Jureia-Itatins (BAPTISTA, 2017).

### Considerações Finais

Este trabalho, ainda em andamento, utilizará uma abordagem interdisciplinar e computacional para o estudo da agrobiodiversidade da mandioca em comunidades tradicionais, podendo contribuir com novos *insights* para o entendimento das práticas de manejo realizadas por estas comunidades.

### Agradecimentos

Este trabalho faz parte do mestrado de Vitor Hirata Sanches, realizado no Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos (EACH-USP), e agradecemos à CAPES pelo financiamento concedido (Processo Nº 1711257).

### Referências

- ADAMS, C., SIQUEIRA, A., MURRIETA, R.S.S. & SANCHES, R.A., 2006. **O Pão da Terra. Da Invisibilidade da Mandioca na Amazônia**. In: C. Adams, R.S.S. Murrieta & W.A. Neves (eds.), *Sociedades Caboclas Amazônicas: Modernidade e Invisibilidade*. São Paulo: Annablume, p. 291-317.
- ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar**. Revista Nera, n. 16, p. 22-32, 2012.
- BAPTISTA, Clara M. B. **Qual diversidade conservar? A perda de agrobiodiversidade na agricultura caiçara da região da Juréia – SP**. Monografia de conclusão de curso em Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo, 2017.
- BERGER, T. **Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis**. *Agricultural Economics*, v. 25, p. 245-260. 2001.
- BONABEAU, Eric. **Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. suppl 3, p. 7280-7287, 2002.
- BRUSH, Stephen B. **Farmers' bounty: locating crop diversity in the contemporary world**. New Haven: Yale University Press, 2004. (Yale agrarian studies series).
- ELIAS, Marianne et al. **Genetic Diversity of Traditional South American Landraces of Cassava (Manihot Esculenta Crantz): An Analysis Using Microsatellites**. *Economic Botany*, v. 58, n. 2, p. 242–256, Abr 2004.
- EMPERAIRE, Laure e PERONI, Nivaldo. **Traditional Management of Agrobiodiversity in Brazil: A Case Study of Manioc**. *Human Ecology*, v. 35, n. 6, p. 761–768, Out 2007.

- FAO. **Agricultural Biodiversity**. Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, Background Paper 1, Maastricht, Netherlands, 1999.
- FOLKE, Carl. **Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses**. *Global environmental change*, v. 16, n. 3, p. 253–267, 2006.
- JACKSON, L.E.; PASCUAL, U. e HODGKIN, T. **Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 121, n. 3, p. 196–210, Jul 2007.
- KAWA, N. C.; MCCARTY, C. e CLEMENT, C. R. **Manioc Varietal Diversity, Social Networks, and Distribution Constraints in Rural Amazonia**. *Current Anthropology*, v. 54, n. 6, 2013.
- LIN, Brenda B. **Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change**. *BioScience*, v. 61, n. 3, p. 183–193, Mar 2011.
- LIMA, R. V. DE A. **Modelagem baseada em agentes para avaliar a sustentabilidade da exploração do palmito jussara por comunidades quilombolas do Vale do Ribeira, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Universidade de São Paulo.
- LIMA, Deborah; STEWARD, Angela e RICHERS, Bárbara Trautman. **Exchange, experimentation and preferences: A study on the dynamics of manioc diversity in the Middle Solimões, Amazonas**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 7, n. 2, p. 371–396, 2012.
- MACAL, Charles M. e NORTH, Michael J. **Tutorial on agent-based modeling and simulation**. In: *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter*. IEEE, p. 14, 2005.
- MACY, M. W.; WILLE, R. **From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling**. *Annual Review of Sociology*, v. 28, n.1, p. 143–166. 2002.
- MALÉZIEUX, E. et al. **Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review**. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, n. 1, p. 43–62, Mar 2009.
- MARTINS, Paulo Sodero. **Dinâmica evolutiva em roças de caboclos amazônicos**. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 209–220, 2005.
- NEWMAN, Mark. **Networks: an introduction**. Oxford university press, 2010.
- PAUTASSO, Marco et al. **Seed exchange networks for agrobiodiversity conservation. A review**. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 33, n. 1, p. 151–175, Jan 2013.
- RAMALINGAM, Ben et al. **Exploring the science of complexity: Ideas and implications for development and humanitarian efforts**. London: Overseas Development Institute, 2008.
- RIVAL, Laura e MCKEY, Doyle. **Domestication and diversity in manioc (*Manihot esculenta* Crantz ssp. *esculenta*, Euphorbiaceae)**. *Current anthropology*, v. 49, n. 6, p. 1119–1128, 2008.
- SANTILLI, Juliana. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. Editora Peirópolis LTDA, 2009.
- SAYAMA, Hiroki. **Introduction to the modeling and analysis of complex systems**. Open SUNY Textbooks, 2015.
- THOMAS, Mathieu 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, Lori Ann. **Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture**. *International affairs*, v. 76, n. 2, p. 283–297, 2000.
- VETETO, James R. e SKARBØ, Kristine. **Sowing the Seeds: Anthropological Contributions to Agrobiodiversity Studies**. *Culture & Agriculture*, v. 31, n. 2, p. 73–87, 8 Dez 2009.
- WASSERMAN, Stanley e FAUST, Katherine. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge university press, 1994.
- WINDRUM, Paul; FAGIOLO, Giorgio e MONETA, Alessio. **Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects**. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 10, n. 2, p. 8, 2007.