

Universidade de São Paulo
Escola de Artes Ciências e Humanidades
Mestrado em Modelagem de Sistemas Complexos

Projeto de Mestrado

**Modelagem Baseada em Agente para o estudo da Emergência de
Agrobiodiversidade em Comunidades Tradicionais: um estudo
sobre a mandioca.**

Orientando: Vitor Hirata Sanches
Orientador: Profa. Dr. Cristina Adams
Coorientador: Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

Resumo

A agrobiodiversidade, resumidamente a diversidade de cultivos, é uma das bases dos sistemas agrícolas tradicionais, sendo importante para a garantia da segurança alimentar e nutricional de inúmeras comunidades hortícolas. Contudo, nas últimas décadas a integração destas comunidades ao mercado e a expansão dos métodos da agricultura intensiva tem provocado a erosão genética desta agrobiodiversidade e afetado negativamente a dinâmica destas comunidades tradicionais. Tendo em vista este contexto, propomos a elaboração de um modelo matemático para melhor entender as dinâmicas e fatores que possibilitam o surgimento e a manutenção da agrobiodiversidade - especificamente estudaremos a agrobiodiversidade de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) - em comunidades tradicionais. Para isso serão analisadas três fatores principais: a dinâmica biológica - englobando a adaptação das plantas e do sistema agrícola ao meio - a dinâmica social - englobando como se dá a circulação de sementes nestas comunidades e a importância cultural dos critérios de seleção adotados - e as escolhas individuais - como e porque os agricultores escolhem suas sementes. Por fim será realizada uma breve aplicação empírica do modelo.

1. Introdução

1.1. A agrobiodiversidade

A agrobiodiversidade, ou biodiversidade agrícola, é uma subcategoria da biodiversidade que envolve a diversidade de espécies e variedades que de algum modo influenciam a agricultura. A Food and Agriculture Organization (FAO) define-a nos seguintes termos:

“Agricultural biodiversity refers to the variety and variability of animals, plants and micro-organisms that are used directly or indirectly for food and agriculture, including crops, livestock, forestry and fisheries. It comprises the diversity of genetic resources (varieties, breeds) and species used for food, fodder, fibre, fuel and pharmaceuticals. It also includes the diversity of non-harvested species that support production (soil micro-organisms, predators, pollinators), and those in the wider environment that support agro-ecosystems (agricultural, pastoral, forest and aquatic) as well as the diversity of the agro-ecosystems”

(FAO, 1999: pág 5).

Assim, a agrobiodiversidade é um conceito que abarca a diversidade de plantações, animais e micro-organismos que atuam sobre as plantações, composição da paisagem e práticas de plantio (FAO, 1999; THRUPP, 2000). Alternativamente Jackson et al (2007: pág 197) entendem a agrobiodiversidade em um sentido um pouco mais estrito, como “variety and variability of living organisms that contribute to food and agriculture in the broadest sense, and the knowledge associated with them”, considerando a agrobiodiversidade planejada como a diversidade de plantações e animais e a agrobiodiversidade associada

como os componentes da biota que atuam indiretamente. Já Santilli entende esta diversidade em três níveis: diversidade de espécies, ou seja, existência de espécies distintas, diversidade genética, ou seja, existência de variações dentro de uma mesma espécie, e diversidade de ecossistemas, ou seja, nos modos de produção e manejo de plantio (SANTILLI, 2009).

A maioria das comunidades indígenas e tradicionais - comunidades quilombolas, caiçaras - tem como principal modo de subsistência a agricultura, mais especificamente uma agricultura tradicional, também chamada de agricultura itinerante ou agricultura de coivara (KORMONDY, 2013). A agricultura itinerante tem como base uma elevada agrobiodiversidade e esta é de fundamental importância para a garantia da segurança alimentar destas populações (THRUPP, 2000; SANTILLI, 2009). Contudo, desde o final do século XX tem havido um grande perda de agrobiodiversidade, com comunidades deixando de plantar as variedades locais e passando a adotar poucas variedades comerciais (THRUPP, 2000; PAUTASSO et al, 2013; THOMAS et al, 2011). Fazendo uma análise mundial do estado atual da homogeneização na agricultura, Thrupp (2000) aponta que aproximadamente 7.000 espécies de plantas são consumidas no mundo, contudo apenas 103 espécies representam 90% da plantação mundial e apenas três espécies - arroz, trigo e mandioca - são responsáveis por 60% das calorias que seres humanos retiram de plantas.

As principais causas apontadas para este declínio de agrobiodiversidade são pressões do mercado, como incentivos financeiros a práticas de agricultura intensiva e preferência por espécies e variedades comerciais (JACKSON et al, 2007); a modernização agrícola, com a introdução de plantas geneticamente modificadas, fertilizantes e pesticidas (JACKSON et al, 2007; THOMAS et al, 2011; MALÉZIEUX, 2009); e as mudanças climáticas (LABEYRIE et al. 2014).

Diversos autores apontam para os problemas trazidos por estas práticas (THRUPP, PAUTASSO et al, 2013; BAPTISTA, 2017). A segurança alimentar tem sido afetada e em comunidades onde esta mudança nos modos de produção se deu foi observado uma considerável queda na produção, resultando assim no agravamento e surgimento de problemas relacionadas à fome (THRUPP, 2000). Além desta questão, mesmo quando não afetada a segurança alimentar, a queda da agrobiodiversidade prejudica a nutrição em algumas comunidades, já que elas se alicerçaram historicamente sobre uma ampla biodiversidade para garantir o consumo de todos nutrientes necessários (PAUTASSO et al, 2013).

Outro fator problemático é o impacto ambiental destas novas práticas, normalmente mais danosas ao solo e sobre os sistemas florestais que rodeiam estas comunidades. A agrobiodiversidade atua realizando diversos serviços ecossistêmicos como polinização, fertilização, aprimoramento dos nutrientes, manejo de insetos e doenças e retenção de água (THRUPP, 2000; JACKSON et al, 2007). Serviços estes que têm sido prejudicados com sua redução.

A agrobiodiversidade é também uma importante fonte de etnoconhecimento e sua perda causa danos sociais e científicos. Sociais na medida em que afeta as práticas das comunidades, deteriorando sua identidade e causando uma perda cultural, e científica já

que as informações contidas em espécies e variedades que estão sendo extintas poderiam ser utilizadas pela ciência (THRUPP, 2000).

Com isto, tem sido apontado na literatura uma urgência em se entender melhor como surge a agrobiodiversidade e como pode-se impedir ou reduzir sua perda (PAUTASSO et al, 2012). Especificamente, grande esforço tem sido dedicado a entender como funciona a troca de sementes e materiais de plantio entre os agricultores. Estas trocas, que podem ser descritas na forma de uma rede social, são um importante mecanismo para a manutenção da agrobiodiversidade, na medida em que facilita o acesso a cultivares distintos. As transações compreendem doações, trocas e vendas de sementes, mudas e outros materiais que permitem a atividade agrícola (PAUTASSO et al, 2012; THOMAS et al, 2011).

Uma rede de troca de sementes é fortemente afetada pela rede de interações sociais existentes na comunidade de agricultores, principalmente pelas redes de parentesco, compadrio, amizade e vizinhança (LABEYRIE et al. 2014). Também afetam esta rede fatores como gênero, prestígio social, idade, conhecimento agrícola e nível de agrobiodiversidade (EMPERAIRE e PERONI, 2007; KAWA et al, 2013). Contudo ainda se tem pouco conhecimento sobre como funciona esta rede, como ela se adapta a distúrbios e qual seriam as melhores estruturas de rede para manter agrobiodiversidade (PAUTASSO et al, 2012; SALPETEUR et al, 2017).

A resiliência, entendida aqui como “the capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure, identity, and feedbacks” (WALKER, 2004: pág 2), traz outra perspectiva importante para o estudo da agrobiodiversidade. Sistemas com alta agrobiodiversidade, são menos vulneráveis a pragas ou eventos climáticos (por exemplo secas e excesso de chuvas), que prejudicam determinadas variedades ou espécies e não outras. Além disso, a agrobiodiversidade contribui para controlar a proliferação de pragas e doenças, já que ao não poder atingir muitas espécies, elas têm sua disseminação reduzida (LIN, 2011). Assim, sistemas com alta agrobiodiversidade possuem também alta resiliência, permitindo que os sistemas agrícolas continuem garantindo a provisão de alimentos mesmo quando ocorrem adversidades climáticas, pragas e doenças (FOLKE, 2006; LIN, 2011).

Devido a ampla presença de fatores estocásticos no meio ambiente, a incerteza na produção alimentar é uma grande preocupação nos sistemas agrícolas tradicionais (MOSCHINI e HENNESSY, 2001; HALSTEAD e O'SHEA, 1989; MARSTON, 2011). Existem diversas definições para o que seria este risco, ele pode ser visto como uma variância, como incerteza ou ainda como probabilidade de perdas na produção alimentar (MARSTON, 2011). Existem também inúmeras estratégias que foram elaboradas historicamente para lidar com o risco, estratégias como armazenamento de excedentes, trocas de alimentos, nomadismo e também a já mencionada agrobiodiversidade (HALSTEAD e O'SHEA, 1989; MARSTON, 2011). A diversificação de espécies e variedades cultivadas reduz o risco para estas três possíveis definições de risco, e pelos mesmos motivos apontados no parágrafo anterior - menor vulnerabilidade em eventos climáticos e pragas - se constitui como uma importante estratégia no manejo de risco em sistemas tradicionais.

Existem diversos modelos e teorias para se estudar o risco e a tomada de decisão de pessoas envolvidas em risco. Estes modelos, surgidos da economia e da biologia comportamental trabalham com dois aspectos principais: uma distribuição de probabilidade dos possíveis resultados dado uma decisão comportamental; e com a ideia de que cada resultado tem associado a si uma função de utilidade ou um fitness (WINTERHALDER, 1999). É controlando estes dois aspectos que é modelado a tomada de decisão e a análise de sensibilidade ao risco (WINTERHALDER, 1999). É através de modelos como estes que se chegou ao entendimento que a minimização do risco pode favorecer o aparecimento de estratégias de diversificação, já que estes trazem consigo uma menor variância anual na produção alimentar (WINTERHALDER, 1999; HALSTEAD e O'SHEA, 1989).

Por fim, outra contribuição relevante para entender a agrobiodiversidade é dada a partir do conhecimento das próprias comunidades, a partir do etnoconhecimento. Dentro das comunidades existem diversos critérios adotados para a seleção de sementes e estes possibilitam que se entenda de modo mais significativo como funciona o sistema agrícola tradicional internamente (EMPERAIRE e PERONI, 2007; BRUSH, 2004). Existem diversos critérios para a seleção de sementes apontados na literatura, tanto critérios que envolvem a otimização da produção, como plantas com maior rendimento, mais adaptáveis ao meio, com maior quantidade de partes utilizáveis, como critérios de ordem social e cultural, como critérios estéticos, religiosos ou simbólicos (VETETO e SKARBØ, 2009; BRUSH, 2004; EMPERAIRE e PERONI, 2007).

1.2 Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um cultivo nativo da América do Sul e um dos mais importantes cultivos em muitas sociedades tradicionais e modernas (RIVAL e MCKEY, 2008; ELIAS et al, 2004). Ela possui uma enorme agrobiodiversidade e já foram relatadas roças com até 40 variedades diferentes de mandioca (ELIAS et al, 2004; EMPERAIRE e PERONI, 2009; RIVAL e MCKEY, 2008).

A mandioca pode ser dividida em dois tipos principais dependendo do nível de toxicidade da planta (ELIAS et al, 2004). Para raízes com massa de cianeto até 100 ppm ela é chamada de mandioca mansa ou aipim, já para raízes com massa de cianeto maior que 100 ppm, ela é chamada de mandioca brava ou simplesmente mandioca (dependendo da região em questão) (ELIAS et al, 2004). A mandioca brava requer que haja um processamento prévio ao consumo, para que a planta perca seus componentes tóxicos aos seres humanos, e é normalmente utilizada na forma de farinhas ou bebidas .

Existem duas formas de reprodução na mandioca: assexuada e sexuada. A reprodução assexuada se dá através das ramas (ou estacas), que são colhidas e depois plantadas em uma safra seguinte, por este método a planta herda exatamente o mesmo código genético da planta que a gerou (RIVAL e MCKEY, 2008). Já a reprodução sexuada se dá através de sementes que são geradas pela mandioca, fecundadas e dispersas no solo pouco tempo antes da colheita, estas sementes então ficam dormentes, passam pelo tempo de pousio e de queima e quando as novas mudas seriam plantadas, as sementes passam a germinar (RIVAL e MCKEY, 2008). A reprodução sexuada permite a ocorrência de mutações e cruzamento entre variedades diferentes, assim mesmo não sendo a forma predominante de propagação do cultivo, ela tem um importante papel na manutenção da

agrobiodiversidade, fazendo com que constantemente sejam criadas novas variedades e aumentando a variabilidade de cultivos presente em uma mesma roça (RIVAL e MCKEY, 2008; ELIAS et al, 2001).

Além do fato já apontado de a mandioca ser uma das espécies onde é observada os maiores níveis de agrobiodiversidade, a mandioca foi escolhida para este estudo por ser uma das espécies mais bem documentadas na literatura. Existem muitos estudos realizados sobre as diversas variedades de mandioca existentes (ELIAS et al, 2004; KAWA et al, 2013), como se dá a relação das populações tradicionais com a mandioca (EMPERAIRE e PERONI, 2009; RIVAL, 2001; DELÊTRE et al, 2011) e como se dá a relação do ambiente local com a mandioca (FRASER et al, 2012).

1.3. Sistemas Complexos

Dois dos aspectos anteriormente apontados: a emergência de resiliência no sistema e o entendimento do funcionamento da rede de trocas são importantíssimos para se melhor compreender a agrobiodiversidade e ambos estão dentro do conjunto de assuntos que são estudados em Sistemas Complexos.

Sistemas Complexos são sistemas constituídos de muitos agentes e que interagem entre si (BOCCARA, 2010). Eles possuem algumas propriedades, como por exemplo apresentam comportamentos emergentes, que não podem ser explicados pela mera junção de suas partes; são auto-organizados, não precisando de um controlador central para se organizar e funcionar; são adaptáveis, ou seja evoluem conforme as pressões internas e externas (BOCCARA, 2010; SAYAMA, 2015). Estas propriedades não são necessárias para caracterizar um sistema complexo, contudo estão presentes em muitos destes.

Além disso, diversos autores ressaltam a importância da colaboração interdisciplinar de modo a melhor entender problemas sócio-ecológicos (FOLKE, 2006), o que também ocorre nos debates sobre agrobiodiversidade (PAUTASSO et al, 2011; COOMES et al, 2011; MALÉZIEUX, 2009). Esta colaboração abrange as mais diversas áreas, e uma delas é a utilização de modelos e técnicas, como a de análise de redes sociais. Por exemplo Pautasso (2011) cita diretamente como uma abordagem importante para se entender a agrobiodiversidade a simulação de modelos. É baseado em fatos como estes que se optou por trabalhar com modelos neste projeto.

Apesar da grande potencialidade heurística dos modelos, existem poucas tentativas de trabalhar com modelos matemáticos e simulações para se entender especificamente a agrobiodiversidade. Além disso, os poucos modelos existentes se focam em estudar a propagação de uma variedade na rede de trocas de sementes, de modo semelhante a modelos de epidemiológicos de propagação de doenças ou modelos de difusão de inovação. Por exemplo Pautasso (2015) tem como objetivo de estudar a propagação de uma variedade na rede de trocas de sementes e o alcance de uma variedade recém inserida. Para isto trabalha com um modelo com apenas uma variedade e onde cada agente tem uma proporção de sua plantação ocupada pela variedade - inicialmente este valor é nulo -, então em cada passo os agentes que estão conectados com um agente que possui a variedade tem uma certa probabilidade P_i de adquirir a variedade; além disso os agentes que já possuem a variedade tem uma probabilidade persistência P_p , que regula se estes

continuaram a ter a variedade. Posteriormente o autor aplica este modelo utilizando dados coletados sobre o fluxo de sementes de cevada em seis comunidades no norte da Etiópia.

Barbillon et al. (2015), em outro trabalho para estudar a difusão de sementes, faz um trabalho semelhante, porém mais matemático, se baseando para isto também em modelos epidemiológicos. O objetivo declarado do estudo é medir o impacto da rede interações no comportamento do modelo. Em seu modelo, também há apenas uma variedade, contudo cada agente possui ou não está variedade, ao contrário do modelo de Pautasso (2015), onde este valor é contínuo. Partindo de uma condição inicial com a semente em alguns dos sítios, a probabilidade de um sítio ser colonizado por cada um dos sítios que possuem a variedade e estão ligados a ele (através da rede de trocas) será a chamada probabilidade de colonização. Cada sítio ocupado pode ainda perder a variedade conforme uma probabilidade de extinção. Os autores então realizam diversas análises com o modelo, verificando até que ponto este pode ser aproximado por um modelo determinístico, a importância da rede (influências de seu tamanho, densidade e topologia) e das taxas de extinção e colonização. Posteriormente é realizada uma aplicação deste modelo para estudar o Réseau Semences Paysannes, uma rede de organizações francesa onde ocorrem trocas de sementes.

Já modelos focados no estudo da biodiversidade e do embate entre diferentes espécies e variedades dentro da natureza são mais comuns e este assunto é estudado a muito tempo pelos ecologistas (MAY e MCLEAN, 2007; HUANG et al, 2016). Um dos modelos existentes é o dado pela equação de Michaelis-Menten-Monod (MONOD, 1949; LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997), que se utilizando da Lei de Liebig, segundo o qual o crescimento de uma espécie depende somente do recurso limitante (LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997; DE SOUZA JÚNIOR et al, 2014). Esta equação atesta que o crescimento de uma espécie será:

$$f = f_M \frac{R}{K+R},$$

onde f o crescimento real da população, f_M o crescimento máximo da população, R a quantidade do recurso limitante e K a constante de meia-saturação, ou seja caso a quantidade de recurso seja K o crescimento será metade do máximo valor possível.

Seguindo-se puramente este modelo se chegará no chamado Princípio de Competição Exclusiva (HUANG et al, 2016; DE SOUZA JÚNIOR et al, 2014), segundo o qual a quantidade de espécies que podem coexistir é igual ao número de diferentes recursos limitantes. Apesar da controvérsia acerca da validade deste princípio, o modelo de Michaelis-Menten-Monod traz uma modelagem simples da competição entre múltiplas populações, com resultados validados empiricamente para certos ambientes (MONOD, 1949; LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997).

2. Objetivos

Neste contexto, formulam-se as seguintes perguntas de pesquisa para este projeto:

1. Qual é a importância dos mecanismos biológicos (seleção natural, mutações) para a produção e reprodução da agrobiodiversidade 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 em sistemas agrícolas tradicionais?
3. Qual é a importância dos mecanismos de escolhas individuais dos agricultores para a produção e reprodução da agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais?

Estas perguntas não tem como objetivo afirmar se, de fato, foi isto que ocorreu historicamente, ou negligenciar outras dinâmicas que certamente ocorrem e são importantes, mas meramente estudar a influências das dinâmicas citadas para se obter de modo emergente a agrobiodiversidade. A emergência é aqui entendida como uma relação não trivial entre as escalas microscópicas e macroscópicas (SAYAMA, 2015), onde apenas definindo-se as dinâmicas microscópicas se obtém sem a necessidade de imposições externas um determinado comportamento.

3. Metodologia

3.1. Modelo

Neste trabalho o tipo de modelagem adotada será a modelagem baseada em agentes (MBA). Ela é caracterizada por sistemas com muitos agentes e tem três elementos fundamentais: agentes, ambiente, e regras de interação (RAMALINGAM et al. 2008; SAYAMA, 2015). Ou seja, são definidos agentes, com seus respectivos atributos, e são estabelecidas regras de interação entre os agentes, dos agentes com o ambiente e de evolução do ambiente por si só. Então o sistema é simulado, observando-se os resultados *macro* surgidos das interações no nível *micro* que foram definidas. Sua maior potencialidade é que, neste tipo de modelagem, os comportamentos do sistema surgem bottom-up, ou seja a partir da modelagem em um nível mais baixo se obtém os resultados finais. É por este motivo que a MBA tem sido a principal ferramenta para se estudar e obter fenômenos emergentes (BONABEAU, 2002).

Bonabeau (2002) resume as principais situações onde a MBA é mais adequada e útil: 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 por fim quando os agentes exibem comportamentos complexos como aprendizagem e adaptação (BONABEAU, 2002). Todas estes fatores estão presentes em sistemas agrícolas tradicionais e serão incorporados ao modelo: as interações entre os agentes não são simples e lineares; a espacialidade afeta a rede de troca de sementes; os indivíduos têm características distintas como o prestígio e a habilidade na agricultura; a rede de troca de sementes é uma rede com topologia complexa, dependendo de diversos fatores e não se aproximando de uma rede regular ou aleatória (SAYAMA, 2015); o modelo pretende fazer emergir agrobiodiversidade, e isto se dará através de adaptação e aprendizagem.

Outra metodologia utilizada conjuntamente à MBA será a análise e dinâmica de redes sociais. A utilização de redes juntamente com a MBA tem sido usada para modelar como ocorrem as interações entre os agentes, trazendo mais realidade ao modo como ocorrem as interações e possibilitando resultados interessantes (MACAL e NORTH, 2005; BONABEAU, 2002). Uma rede é um conjunto de nós, ligações e uma função que mapeia as

ligações a pares de nós (LEWIS, 2011; NEWMAN 2010). No caso da rede de troca de sementes cada nó será representado por uma unidade doméstica (UD), a principal unidade de análise, e uma ligação representa uma doação de uma semente (partindo de uma UD e chegando em outra). Assim as redes serão diretas - as ligações têm um sentido - e além disto elas serão também dinâmicas, ou seja os nós, ligações e função de mapeamento podem mudar com o tempo (LEWIS, 2011).

A análise de redes sociais é utilizada devido a sua importante contribuição a perguntas de cunho social e comportamental, trazendo novos conhecimentos 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, o quão densa é a rede e o quão 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.

3.2. Análise dos resultados

No modelo serão utilizados dois módulos separados, um para lidar com a dinâmica biológica e um para lidar com a dinâmica social. Os módulos inicialmente serão executados separadamente, verificando a capacidade de cada um destes de obter agrobiodiversidade de modo emergente, qual seu papel na geração e manutenção de agrobiodiversidade, e então em uma etapa posterior agrupados para analisar como estas dinâmicas possivelmente se interligam. Como resultado principal será obtido a evolução da quantidade de variedades na comunidade, bem como a forma como ela se distribui dentro das unidades domésticas. É com isto que será avaliado a capacidade das duas dinâmicas de obter de modo emergente a agrobiodiversidade.

Também será realizada a análise de sensibilidade do sistema, uma técnica utilizada para avaliar localmente - para certas entradas mantidas fixas - ou globalmente - para qualquer conjunto do espaço de entradas - a variação nos resultados do modelo conforme uma variação nas entradas (*inputs*) a ele fornecidos (SALTELLI et al, 2004; MARINO et al, 2008). A análise de sensibilidade é uma importante ferramenta para validar modelos, pois verifica o robustez deste, o quão consistente são os resultados (WINDRUM et al, 2007). Além disso, também pode ser avaliada a importância de cada parâmetro para o funcionamento do modelo, já que certos parâmetros podem influenciar mais significativamente os resultados (SALTELLI et al, 2004).

Tradicionalmente esta técnica é utilizada no contexto de modelos determinísticos e a variação na entrada é uma variação do valor dos parâmetros do modelo. Na MBA a análise de sensibilidade é um pouco mais difícil de ser realizada, contudo com técnicas probabilísticas é possível fazê-lo (MARINO et al, 2008; WINDRUM et al, 2007). Marino et al (2008) apresentam algumas técnicas que poderão ser utilizadas, por exemplo criar as amostras de entradas (como a Latin hypercube sampling), e ranquear e medir o índice de sensibilidade (como o Partial rank correlation coefficient ou a Extended Fourier amplitude sensitivity test) (MARINO et al, 2008; SALTELLI et al, 2004).

Dada a enorme flexibilidade da modelagem baseada em agentes, diversos modelos, com resultados bastante distintos, podem ser produzidos, e que não necessariamente trazem informações relevantes. Por este motivo é essencial que os resultados do modelo sejam validados teórica e empiricamente (SAYAMA, 2015; WINDRUM et al, 2007). Contudo, as dificuldades de validação são muitas, e normalmente faltam dados para calibrar o modelo e, em alguns casos, não existe uma situação exata que represente o modelo.

A validação do modelo será realizada de dois modos principais, primeiramente seguindo o apontado por Windrum et al. (2007) será utilizado a calibração indireta, método onde devem ser detectados fatos estilizados, representações simplificadas de relações e resultados empíricos, que então irão guiar a produção do modelo e restringir o espaço de parâmetros. Também será realizada uma breve aplicação do modelo em um caso empírico concreto, esta aplicação possivelmente será realizada com uma ampliação dos dados já coletados sobre comunidades caiçaras na região do Mosaico de Unidades de Conservação da Jureia-Itatins (BAPTISTA, 2017).

4. Cronograma

- Levantamento bibliográfico sobre agrobiodiversidade e ferramentas de modelagem de sistemas complexos. Nesta etapa será feita uma revisão e ampliação da bibliografia coletada, além de uma preparação para a elaboração do modelo. **3 meses.**
- Estruturação do modelo e formulação de sua primeira versão. Nesta etapa será feita uma listagem das dinâmicas que devem ocorrer no modelo, elaboração do modo de funcionamento dos módulos sociais e biológicos, bem como a escrita do código do modelo. **4 meses.**
- Análises preliminares e aprimoramento do modelo. Nesta etapa será realizada a calibração do modelo e verificação da adequação teórica dos resultados, reelaborando e aprimorando o modelo conforme as necessidades, ainda nesta parte será realizada a aplicação empírica do modelo. **6 meses.**
- Compilação, análise dos resultados finais e redação da dissertação. Nesta etapa serão agrupados e analisados os resultados obtidos na versão final do modelo, realizando possíveis correções finais, além da redação da dissertação de mestrado. **6 meses.**

Bibliografia

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.

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).

COOMES, Oliver T. et al. **Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconceptions.** Food Policy, v. 56, p. 41–50, Out 2015.

DE SOUZA JÚNIOR, Misael B. e FERREIRA, Fernando F. e DE OLIVEIRA, Viviane M. **Effects of the spatial heterogeneity on the diversity of ecosystems with resource competition.** Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 393, p. 312–319, Jan 2014.

DELÊTRE, Marc e MCKEY, Doyle B. e HODKINSON, Trevor R. **Marriage exchanges, seed exchanges, and the dynamics of manioc diversity.** Proceedings of the National Academy of Sciences, 00047, v. 108, n. 45, p. 18249–18254, 2011.

ELIAS, Marianne et al. **Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a vegetatively propagated crop plant, cassava (*Manihot esculenta* Crantz), in a traditional farming system.** Molecular Ecology, v. 10, n. 8, p. 1895–1907, Ago 2001.

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.

FRASER, James Angus et al. **Convergent Adaptations: Bitter Manioc Cultivation Systems in Fertile Anthropogenic Dark Earths and Floodplain Soils in Central Amazonia.** PLoS ONE, v. 7, n. 8, p. e43636, 29 Ago 2012.

MOSCHINI, Giancarlo e HENNESSY, David A. **Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers.** Handbook of agricultural economics. North-Holland, 2001. v. 1A. p. 87–153.

HALSTEAD, P. e O'SHEA, J. (Org.). **Bad Year Economics: Cultural Responses to Risk and Uncertainty.** New Directions in Archaeology, Cambridge University Press, 1989.

HUANG, Weini et al. **A resource-based game theoretical approach for the paradox of the plankton.** PeerJ, v. 4, p. e2329, 18 Ago 2016.

JACKSON, L.E. 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, Nicholas C. e MCCARTY, Christopher e CLEMENT, Charles R. **Manioc Varietal Diversity, Social Networks, and Distribution Constraints in Rural Amazonia**. *Current Anthropology*, v. 54, n. 6, 2013.

LABEYRIE, Vanesse e RONO, Bernard e LECLERC, Christian. **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.

LEGOVIĆ, Tarzan e CRUZADO, Antonio. **A model of phytoplankton growth on multiple nutrients based on the Michaelis-Menten-Monod uptake, Droop's growth and Liebig's law**. *Ecological Modelling*, v. 99, n. 1, p. 19-31, 1997.

LEWIS, Ted G. **Network science: Theory and applications**. John Wiley & Sons, 2011.

LIN, Brenda B. **Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change**. *BioScience*, v. 61, n. 3, p. 183–193, Mar 2011.

MACAL, Charles M.; NORTH, Michael J. **Tutorial on agent-based modeling and simulation**. In: *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter*. IEEE, p. 14, 2005.

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.

MARINO, Simeone et al. **A methodology for performing global uncertainty and sensitivity analysis in systems biology**. *Journal of theoretical biology*, v. 254, n. 1, p. 178-196, 2008.

MARSTON, John M. **Archaeological markers of agricultural risk management**. *Journal of Anthropological Archaeology*, v. 30, n. 2, p. 190–205, Jun 2011.

MAY, Robert M. e MCLEAN, Angela R. (Org.). **Theoretical ecology: principles and applications**. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2007.

MONOD, Jacques. **The growth of bacterial cultures**. *Annual Reviews in Microbiology*, v. 3, n. 1, p. 371-394, 1949.

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.

KORMONDY, Edward John et al. **Ecologia humana**. Atheneu, 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. **Seed and clone: the symbolic and social significance of bitter manioc cultivation**. In: RIVAL, Laura e WHITEHEAD, Neil (orgs.). *Beyond the visible and the*

material, The Amerindianization of society in the work of Peter Rivière. Oxford University Press, p. 57-79, 2001.

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.

SALPETEUR, Matthieu et al. **Networking the environment: social network analysis in environmental management and local ecological knowledge studies**. Ecology and Society, 00000, v. 22, n. 1, 2017.

SALTELLI, Andrea et al. **Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models**. John Wiley & Sons, 2004.

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.

WALKER, Brian et al. **Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems**. Ecology and society, v. 9, n. 2, 2004.

WASSERMAN, Stanley; FAUST, Katherine. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge university press, 1994.

WINDRUM, Paul; FAGIOLO, Giorgio; 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.

WINTERHALDER, Bruce e LU, Flora e TUCKER, Bram. **Risk-senstive adaptive tactics: models and evidence from subsistence studies in biology and anthropology**. Journal of Archaeological Research, 00192, v. 7, n. 4, p. 301–348, 1999.