

## **Modelagem multi-agentes e de acompanhamento para dinâmicas de paisagens**

### **Objetivo do Modelo**

Baseado em sistema multi-agente (SMA), o modelo *Amaz* tem como objetivo a avaliação de cenários ligados à integração Lavoura-Pecuária-Floresta nas frentes pioneiras. Os diversos cenários permitirão comparar diferentes estratégias de utilização do solo e as consequências em termos de Serviços Ambientais. Os indicadores de comparação devem permitir avaliar:

- Diminuir impactos ambientais das atividades agrícolas;
- Preservar reservas florestais e matas ciliares;
- Recuperar áreas degradadas, criando condições propícias para a produção e diminuindo a necessidade de desmatamentos de novas áreas;
- Gerar empregos, renda e melhores condições ao produtor rural.

### **Abordagem**

Duas abordagens complementares:

- Modelagem participativa do funcionamento das propriedades agrícolas
- Modelagem espacial das frentes pioneiras

Escolhemos uma abordagem pela modelagem de acompanhamento (ComMod: <http://www.commod.org>), ao contrário da modelagem para a optimização. O objetivo é acompanhar os processos de decisão coletiva e individual, em vez de propor uma solução pre-concebida.

### **Modelagem multi-agente para gerar cenários ao nível de uma propriedade**

Concebido ao nível de uma propriedade, o objetivo do SMA é de avaliar as consequências dum a forma específica de uso da terra. O produtor modifica suas práticas agrícolas, levando a formas diferenciadas de uso da terra. Focalizado sobre as práticas (atuais e práticas atuais e concebidas no projeto), estamos modelando as várias estratégias de uso da terra.

Focando-se nos atores, um sistema multi-agente parece ser uma ferramenta judiciosa para revelar alguns fatores decisivos sobre o desmatamento. Sem nos fixar somente no desflorestamento, nós estudamos a vida dos colonos das frentes pioneiras. Isso demanda uma forte presença em campo e numerosos encontros com os colonos para compreender a organização do trabalho, sua história e suas redes sociais. Tudo isto, a fim de melhor entender as dificuldades que eles encontram e imaginar juntamente com eles evoluções alternativas.

Pela formalização dos processos espaciais e sociais, o SMA *Amaz* procura descrever as dinâmicas passadas e antecipar os possíveis futuros das frentes pioneiras, graças a um SMA dos pequenos agricultores. Trata-se de entender

- Como os produtores utilizam a terra?
- Quais são os pontos chaves que influenciam as dinâmicas de utilização

do solo?

O modelo visa representar as atividades dos pequenos colonos que chegaram no início dos anos 70, especificando suas necessidades, suas estratégias de produção e suas interações a fim de descrever seus percursos agrícolas.

### **Quais cenários?**

Definimos 4 cenários:

1. Business as usual
2. Respeitar a lei
3. Maximizar a prestação de serviços ambientais
4. Maximizar a intensificação da produção.

Estes cenários são comparados aplicando-os em 4 estratégias de uso do solo correspondente a quatro tipos de atores. Cada atore-tipo prefere um padrão de gestão do seu estabelecimento de forma seguinte:

1. Priorizar a pecuária
2. Priorizar as culturas perenes
3. Priorizar a agricultura
4. Priorizar a diversificação<sup>1</sup>

Um cenário é concebido como um conjunto de módulos inseridos nas atividades básicas e assim vão alterar as práticas. Estes módulos são:

1. A agricultura de conservação (plantio direto)
2. Intensificação da pecuária (a. pasto – b. pasto e rebanho)
3. Manejo florestal sustentável
4. Desmatamento evitado (apesar de não desmatar mesmo abaixo do permitido)
5. Sistema agro-florestal
6. Descanso em pousio (Regeneração)
7. Parar o uso do fogo para limpeza do pasto.
8. Recuperação acelerada do passivo ambiental
9. Silvopastoril

*Os cenários 0* correspondem aos cenários de “controlo”. Não há restrição legal, nem remuneração por Serviço Ambiental.

### **Os cenários 1: "Respeitar a lei". Módulos 6 e 7**

Cálculo do Passivo ambiental e criação de um plano de recuperação (30 anos para recuperar o passivo) com base no módulo 6 (descanso), se acima do limite da reserva legal e das APPs. Se abaixo do limiar, o agente não excede os 50% do desmatamento, sem derrubar nas APPs, claro. Implementação do módulo 7 (parar o uso do fogo no pasto), mas ele pode queimar e derrubar fora da reserva legal.

---

<sup>1</sup> A estratégia diversificada é fazer rotações prioridades anuais (ano 1 = Fruticultor; ano 2 = Cultivador; ano 3 = Pecuarista, etc.).

**Os cenários 2:** "Maximizar a prestação de serviços ambientais." Módulos 2, 3, 4, 5, 7 e 8.

Com base no módulo 5 (silvicultura). Cada ano,

- Implantar e proteger as árvores em AAR / 2 (Area Anual a Reflorestar) das APPs desmatadas e ARR / 2 pixels não-florestais.

- Desenvolver a silvicultura (Módulo 5) além dos 50%, com árvores em pastagem

- Obter o passivo ambiental em carácter prioritário (módulo 8)

- Manejo Florestal Sustentável (Módulo 3) na RL

- Para o desmatamento evitado (Módulo 4)

- Intensificação do manejo das pastagens (módulo 2a)

- Implementação do Módulo 7 (parar o uso do fogo no pasto).

Proibido de Derruba-Queimar, mesmo se passivo ambiental é positivo.

Receber uma compensação por serviços ambientais.

**Os cenários 3:** "Maximizar a intensificação da produção". Módulos 1, 2, 5 e 7

Intensificar a prioridade ficando dentro da lei.

Introdução de novas práticas:

Se a estratégia pecuarista, a intensificação da produção pecuária (criação de parcelas menores e melhor mantida, silvopastoril, recuperação de pastagens degradadas pela agricultura de conservação (plantio direto) em dois anos).

Se a estratégia é Diversificada:

- Agricultura = Agricultura de conservação unicamente (4 anos)

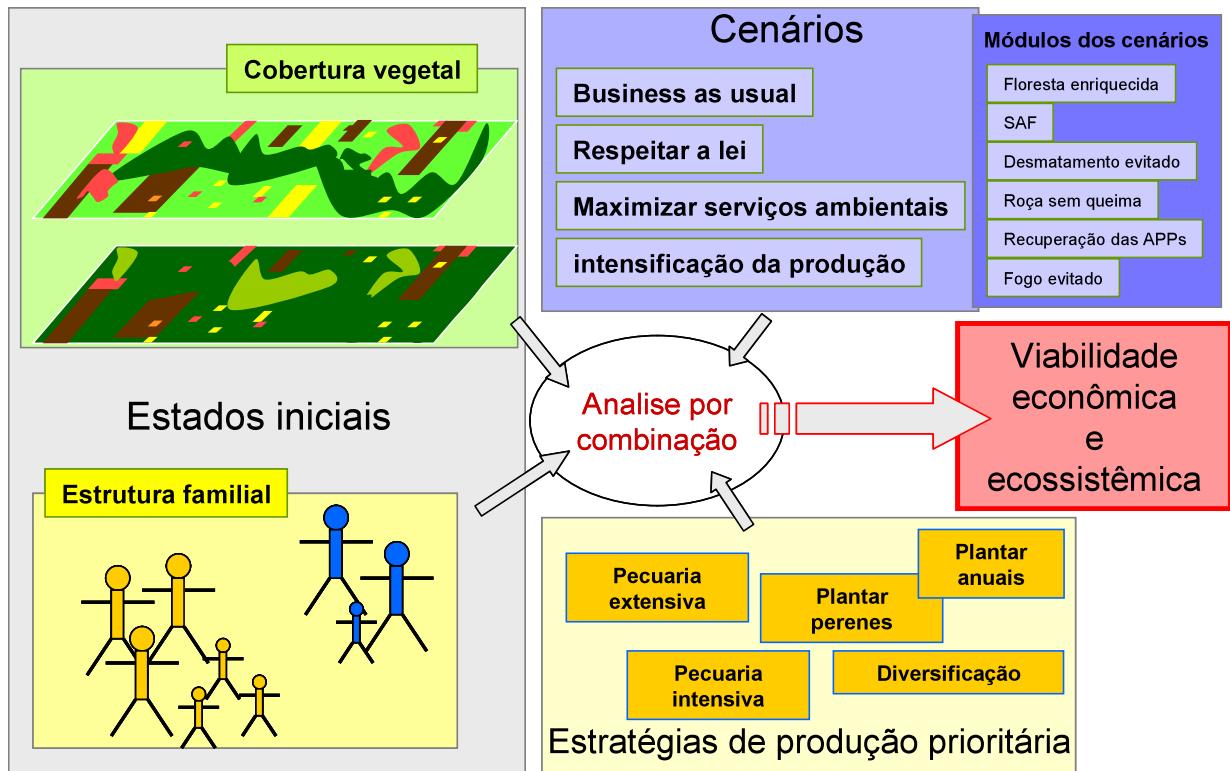
- Pecuária (idem estratégia pecuarista)

- Nenhuma mudança para as culturas perenes.

Além disso, sendo que a estrutura familiar tem um papel importante na viabilidade económica, as simulações são repetidas à partir de inicializações com uma família pequena e com uma família maior.

Finalmente, a estrutura da vegetação do estabelecimento no início também influencia os resultados. É por isso que para uma mesma família, uma mesma estratégia e um cenário determinado, as simulações são aplicadas a um estabelecimento inicialmente em floresta e a um estabelecimento parcialmente desmatado.

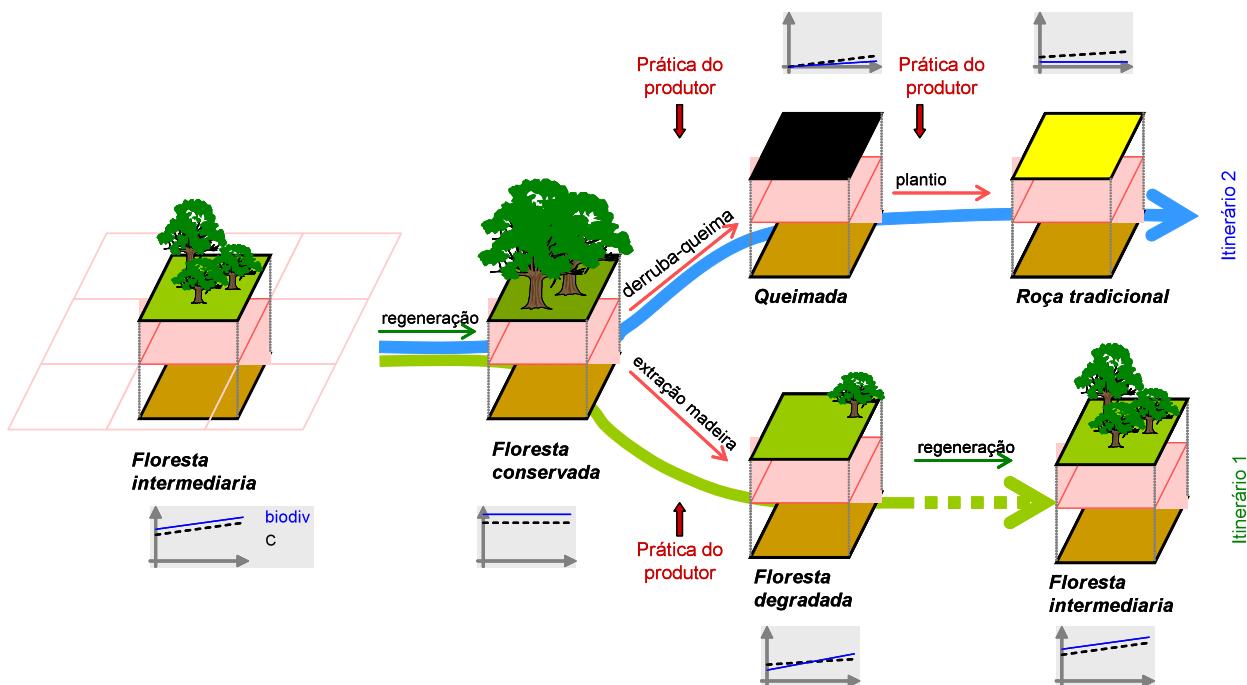
Para todas estas razões, o modelo é analisado através do cruzamento de todos os factores, tais como a figura seguinte (*ilustração 1*) resume:



**Ilustração 1:** Processo de análise do modelo

#### *Princípio da simulação*

O princípio do modelo Amaz é de cruzar duas dinâmicas: a evolução natural da vegetação (e do solo) a longo do tempo, e as atividades do produtor no manejo do seu estabelecimento. Assim, em função do estado inicial e das práticas do produtor, o sistema evolui numa direção que pode ser medida por indicadores ecológicos e econômicos. Por exemplo, podemos medir a superfície de floresta ou a sua fragmentação, a biodiversidade, a biomassa, mas também, a renda da família, o numero de dias de trabalho fora, a quantidade de mão de obra contratada,... Devido ao fato que o modelo é espacial, podemos ver evoluir a paisagem da propriedade.



**Ilustração 2:** Varios caminhos possíveis na evolução da paisagem

## ***Descrição do modelo***

### ***Primeira entrada pelo fundiário e a utilização do solo***

Na Amazônia, poucas propriedades são exclusivamente pecuárias. Apesar de uma boa produtividade do pasto nos 2-3 primeiros anos, um agricultor prefere, na maioria das vezes, desenvolver uma produção de subsistência após a queimada: ela garante a segurança alimentar e sua renda cobre o custo de implantação do pasto. Mesmo para os ranchos, a agricultura de subsistência é a etapa inicial antes do pasto. Além do mais, a técnica mais praticada para recuperar um pasto é transformá-lo em cultura de subsistência durante uma ou duas estações, constituindo assim um outro elemento da complementaridade cultura/forragem. Enfim, a rarefação das parcelas florestais nas propriedades mais antigas, assim como a aplicação do direito ambiental, obrigam alguns a reduzir o desmatamento, intensificando o uso do solo com um ciclo cultura/pasto. Eles procuram também crescer para permanecerem sob o limiar legal de desflorestamento.

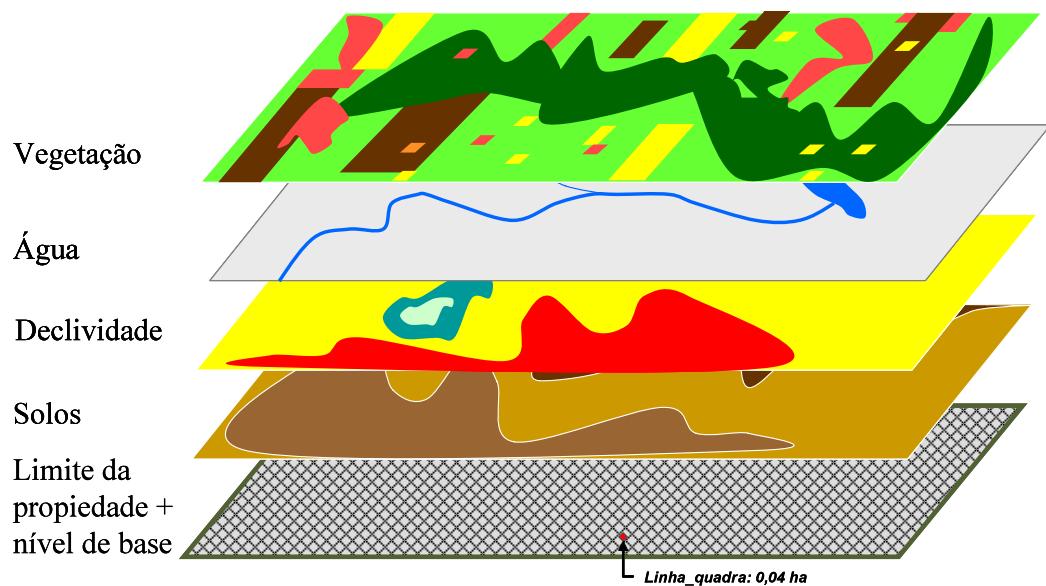
### ***Segunda entrada pela mão-de-obra***

A disponibilidade de mão-de-obra familiar é um elemento-chave do sucesso ou do fracasso da implantação na fronteira. Ludovino (2002) mostra que uma família de 3-4 ativos (um casal com dois adolescentes) tem mais chance de ter êxito que um casal com dois filhos mais novos. Uma doença ou um acidente que invalida uma pessoa por várias semanas, é menos preocupante para uma família com muitos ativos. Além do mais, algumas atividades (corte, deslocamento do rebanho, colheita,...) requerem duas ou três pessoas. Enfim, a venda de uma parte de sua força de trabalho facilita a vida familiar. Assim, os casos de sucesso são frequentemente devido à competência de famílias numerosas no momento da sua chegada na frente pioneira.

## ***Estrutura do modelo***

O SMA *Amaz* é constituído por dois módulos correspondendo aos parágrafos precedentes.

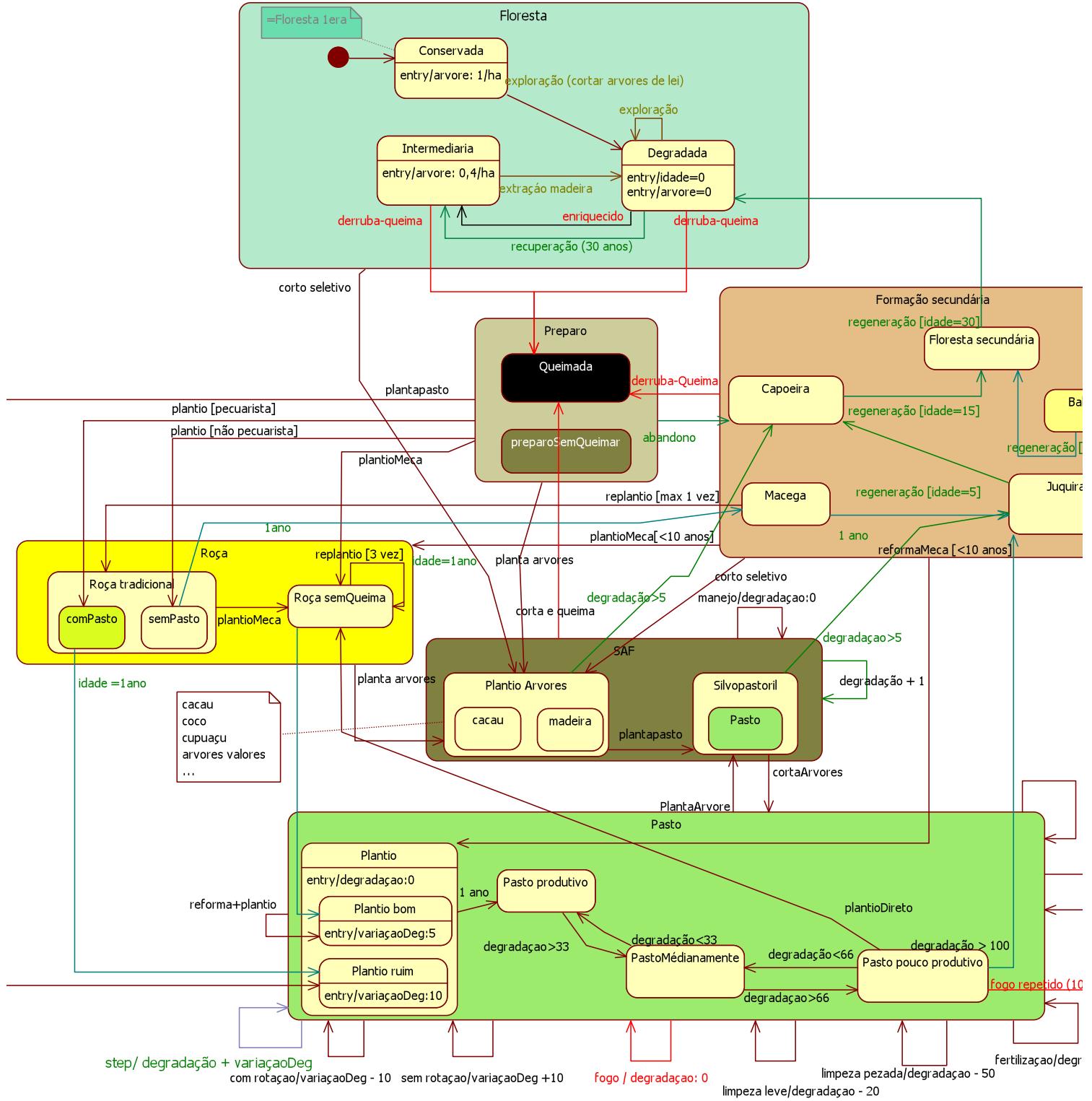
O módulo fundiário representa a organização espacial. Situado ao longo de uma estrada vicinal, o lote de colonização de 100 ha é dividido em parcelas de 400 m<sup>2</sup>. A cada parcela atribui-se um tipo de solo, uma declividade e uma cobertura vegetal: floresta, pousio ou cultura de subsistência, perene ou forrageira.



**Ilustração 3: Elementos espaciais de uma propriedade**

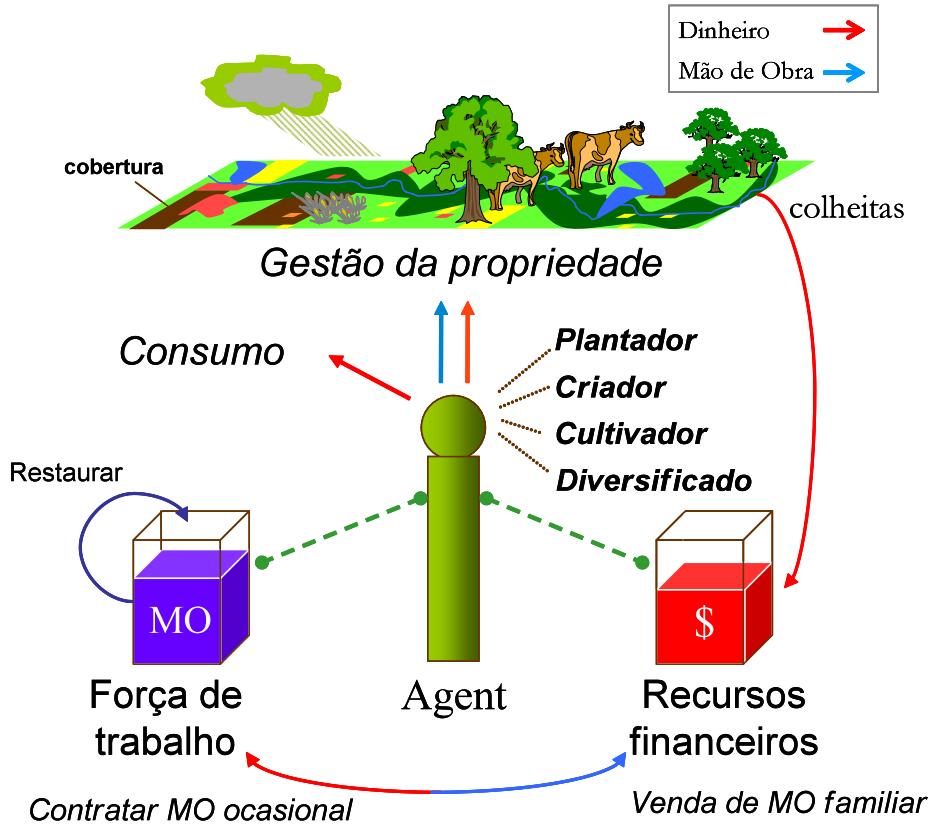
O rebanho é distribuído em pastos com uma carga media de uma cabeça/há, na versão básica sem intensificação. Cada cobertura possui atributos técnico-econômicos, sua própria dinâmica, suas exigências em termos de mão-de-obra e de insumos e uma produção. Cada estação, ele gera uma produção, que é imediatamente convertida em dinheiro no momento da colheita. Mas sem manutenção, sua produtividade diminui e ele acaba desaparecendo.

Esse módulo espacializado calcula a produção de cada cobertura e faz com que evoluam naturalmente: sem produtor, uma paisagem evolui progressivamente em direção à floresta. O diagrama de estado-transição (*ilustração 3*) mostra todas diferentes coberturas que existem no modelo e as maneiras de trocar de uma cobertura para outra, a traves das transições. As transições vermelhas correspondem às atividades humanas (deruba, plantio,...).



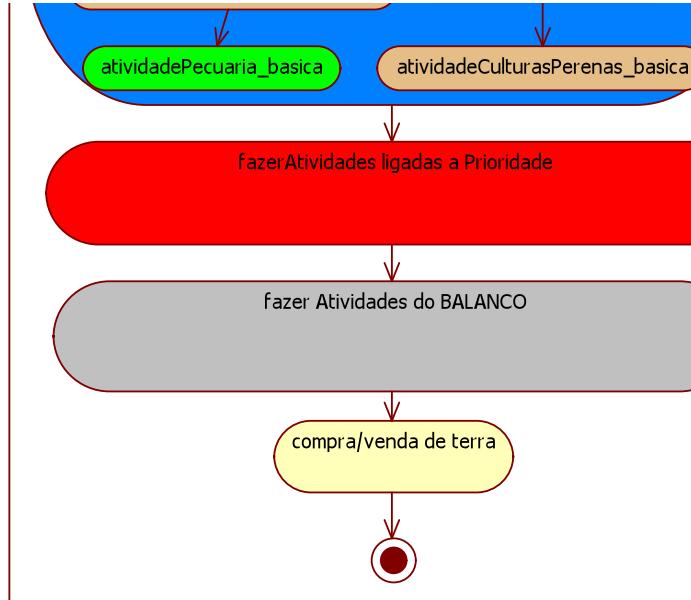
#### **Ilustração 4: Diagrama de Estado-Transição da cobertura vegetal**

O segundo módulo representa a família. Um agente (uma família de  $n$  membros) dispõe de dois recursos: sua mão-de-obra ativa, que ele utiliza para seus trabalhos ou que ele vende afora, e seu dinheiro, que ele recupera no momento das colheitas ou da venda de sua mão-de-obra. Ele gasta esse dinheiro para o consumo da família, os custos ligados aos trabalhos, a contratação ocasional de força de trabalho e a compra de vacas. Sua mão-de-obra equivale a uma quantidade de jornadas de trabalho disponível que diminui com as tarefas realizadas. Essa quantidade é atualizada no início de cada estação (*Ilustração 5*).



**Ilustração 5:** diagrama sistêmico de um produtor

Uma família é associada a uma estratégia que consiste em realizar operações agrícolas em função da estação, seca ou úmida, comprar ou vender mão-de-obra, realizar um balanço anual para comprar ou vender vacas. Diferenciamos as estratégias *Pecuarista*, *Plantador de perenes*, *Cultivador* e *Diversificado*. Por exemplo, escolhendo ser Cultivador ou Pecuarista, uma família cultiva sua terra *privilegiando* sua especialidade. Mas essa escolha não significa necessariamente um abandono das outras culturas já feitas no lote. A ilustração 4 apresenta o cenário 0 e mostra que, cada ano, o produtor começa por as atividades essenciais, e depois, ele faz as atividades ligadas a sua prioridade. Assim, mesmo se a estratégia dele é Plantador, ele começa de cuidar da sua segurança alimentar e logo das atividades pecuaristas básicas (manejo sanitário mínimo, manejo do gado no pasto,...) e das atividades ligadas às perenes (manipulação mínima das culturas perenes produtivas e colheita).



**Ilustração 6: As atividades do cenário 0**

Devido ao fato de que os agentes são limitados em recursos humanos e financeiros, as atividades ligadas à prioridade são executadas após as atividades essenciais que consistem em plantar para segurar a alimentação da família (se necessário) e manter minimamente o rebanho e as coberturas já implantadas.

A partir do cenário 0, cada sub-atividade é descrita em detalhes por outros diagramas de atividades. Por exemplo, os dois diagramas seguintes ilustram a sub-atividade “segurança alimentar” (amarela) e as atividades prioritárias de um pecuarista. A Ilustração 7 mostra as atividades de um produtor (pecuarista ou outra estratégia) que dedica uma parte da sua força de trabalho à manutenção de parcelas agrícolas não destinadas à pecuária, mas para garantir sua segurança alimentar. O diagrama 8 mostra as atividades prioritárias de um pecuarista. Obviamente, para cada estratégia, é necessário desenhar outro gráfico

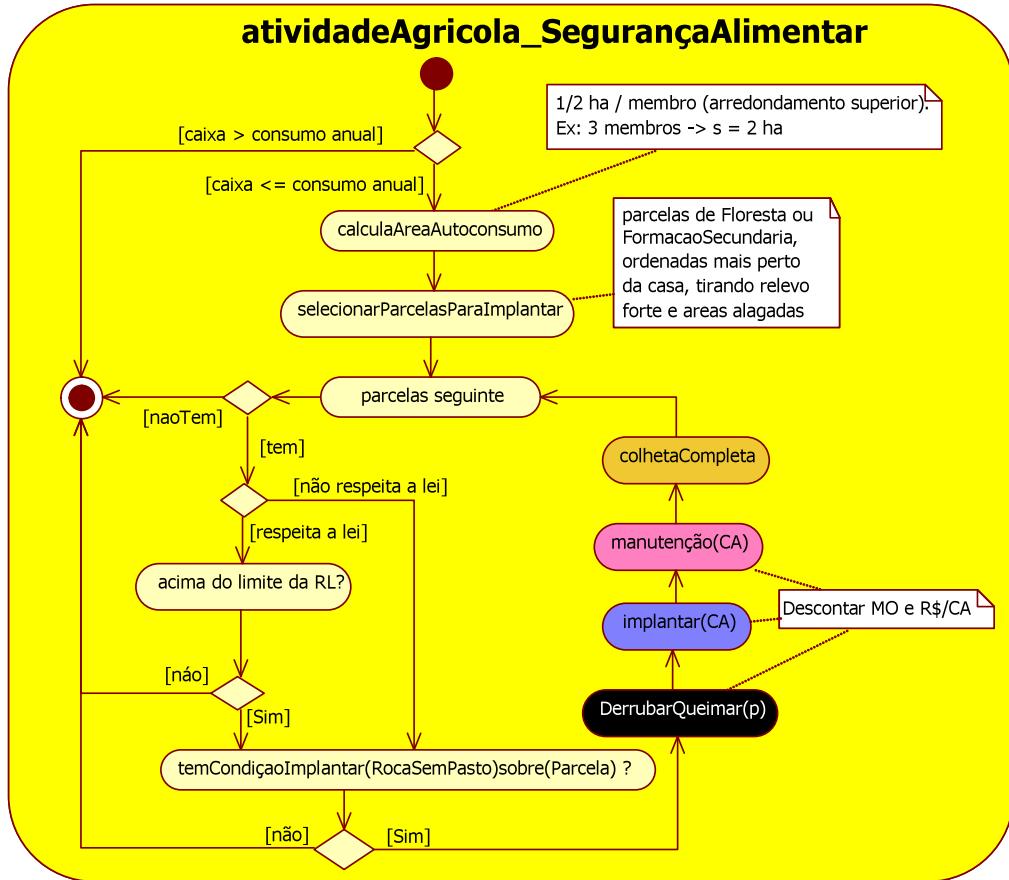


Ilustração 7: Diagrama de atividades da Segurança alimentar

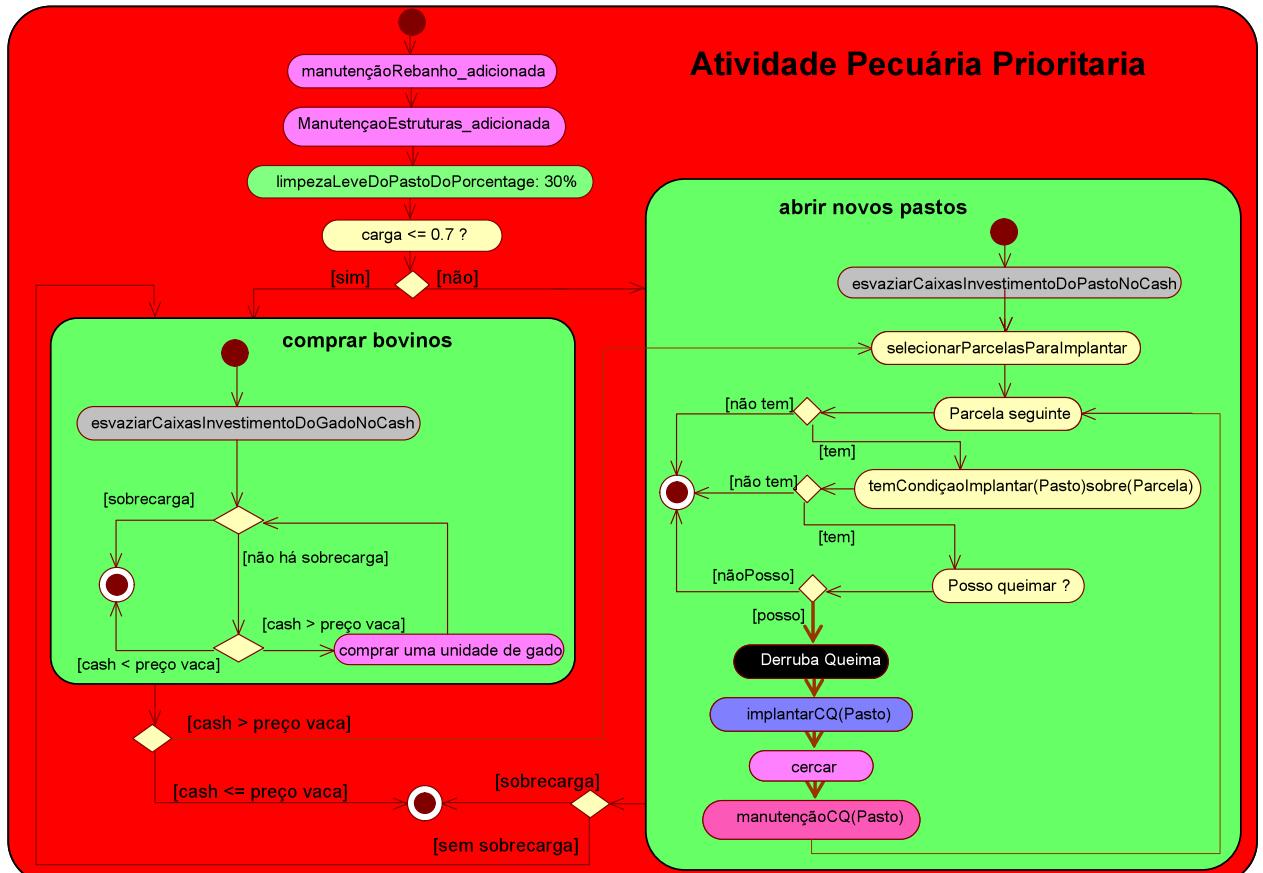


Ilustração 8: Diagrama de atividades da prioridade Pecuarista

Na versão atual do modelo, um agente não pode trocar de estratégia. Um cenário consiste em rodar uma simulação até as consequências extremas.

### Alguns resultados

O modelo foi implantado na plataforma Cormas (<http://cormas.cirad.fr>), mas todos os cenários ainda não foram finalizados. Hoje os cenários 0 “Business as usual” e 1 “Respeitar a lei” são implementados e estamos elaborando os cenários 2 e 3. Também temos que analisar os primeiros resultados para continuar verificar o bom funcionamento do SMA.

Um código de cor foi associado para cada tipo de cobertura (Ilustração 9). Os resultados seguintes são obtidos a partir de simulações utilizando uma propriedade de 100 ha já parcialmente desmatada e com uma família de 5 membros cujo 3 activos. O cash inicial é de 1000 R\$ por pessoa.

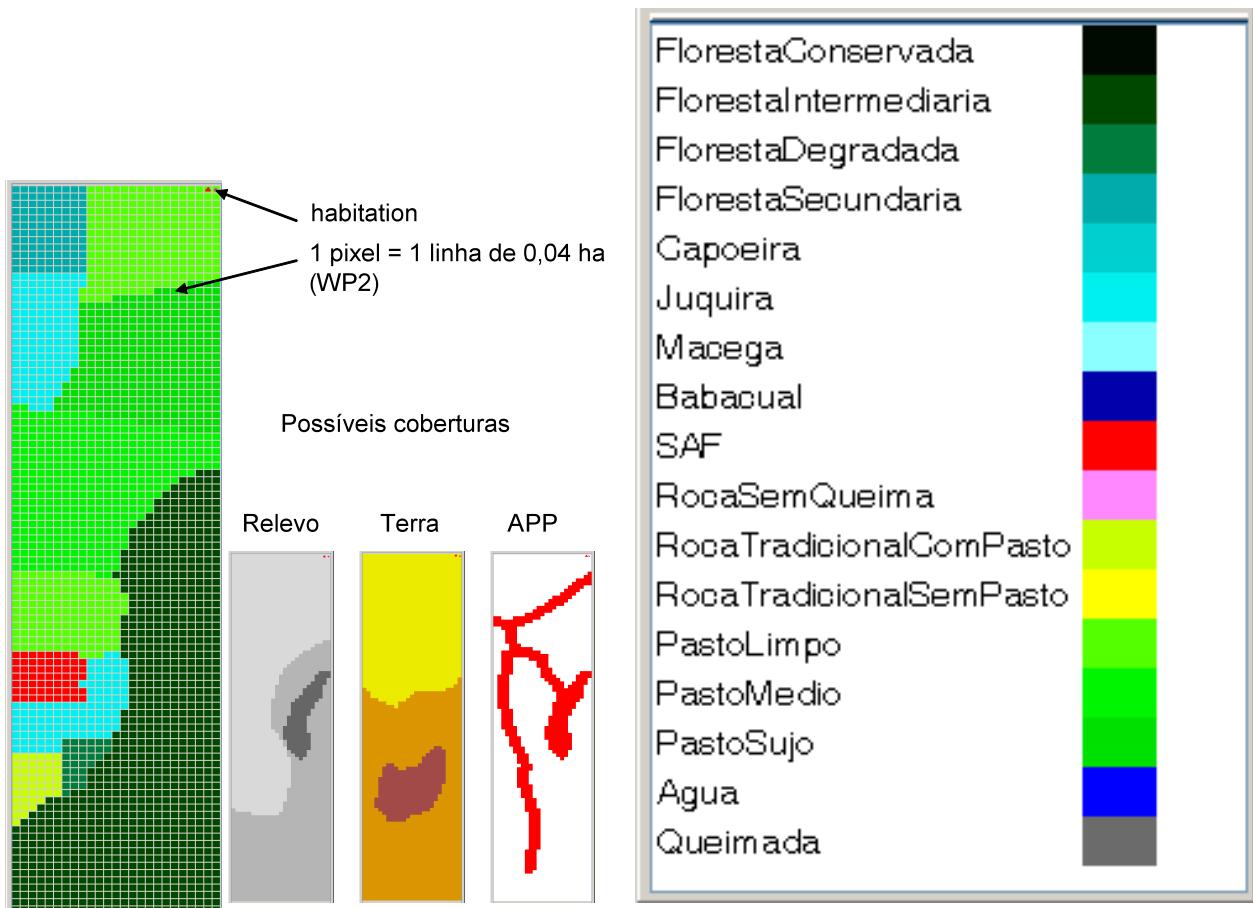
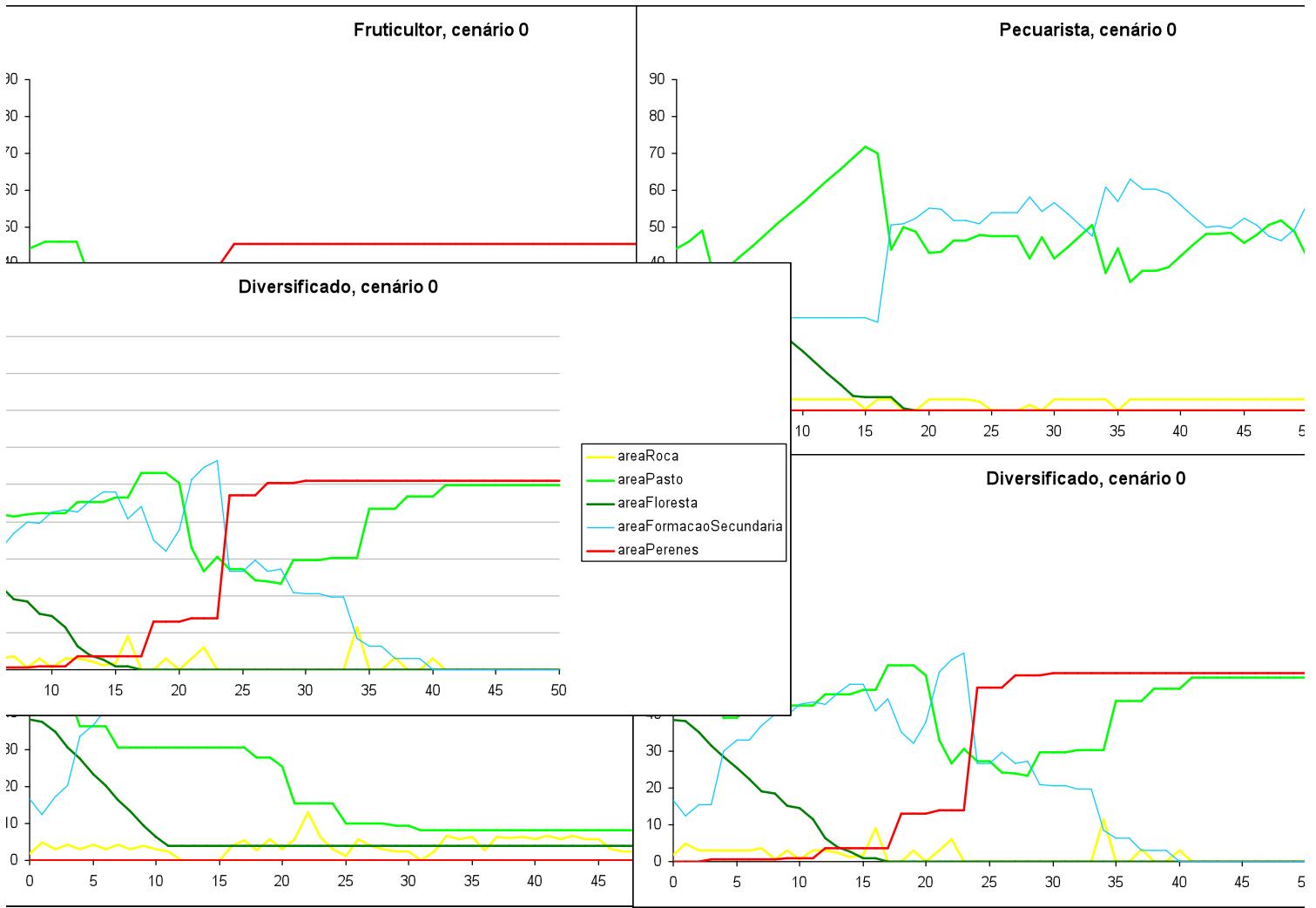


Ilustração 9: Uma vista de uma propriedade e a legenda descrevendo os códigos de cor.

Os 4 curvas seguintes mostram as dinâmicas das coberturas nos cenários 0 à partir das 4 estratégias.



**Ilustração 10: dinâmicas das coberturas nos cenários 0**

Podemos também comparar a renda de cada estratégia em função do cenário 0 e 1 (ilustração seguinte).

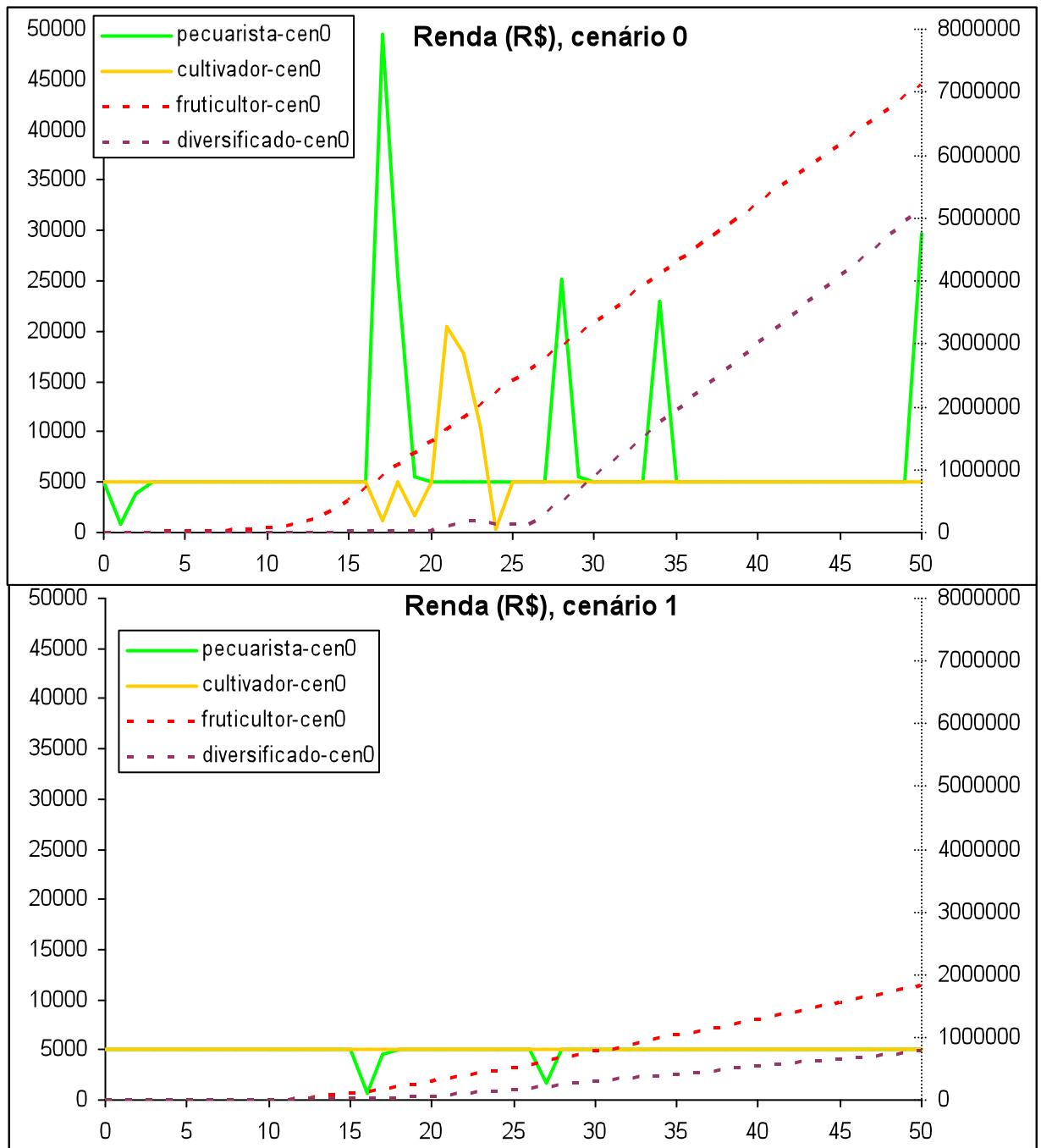


Ilustração 11: Renda das estratégias em função cenário 0 e 1

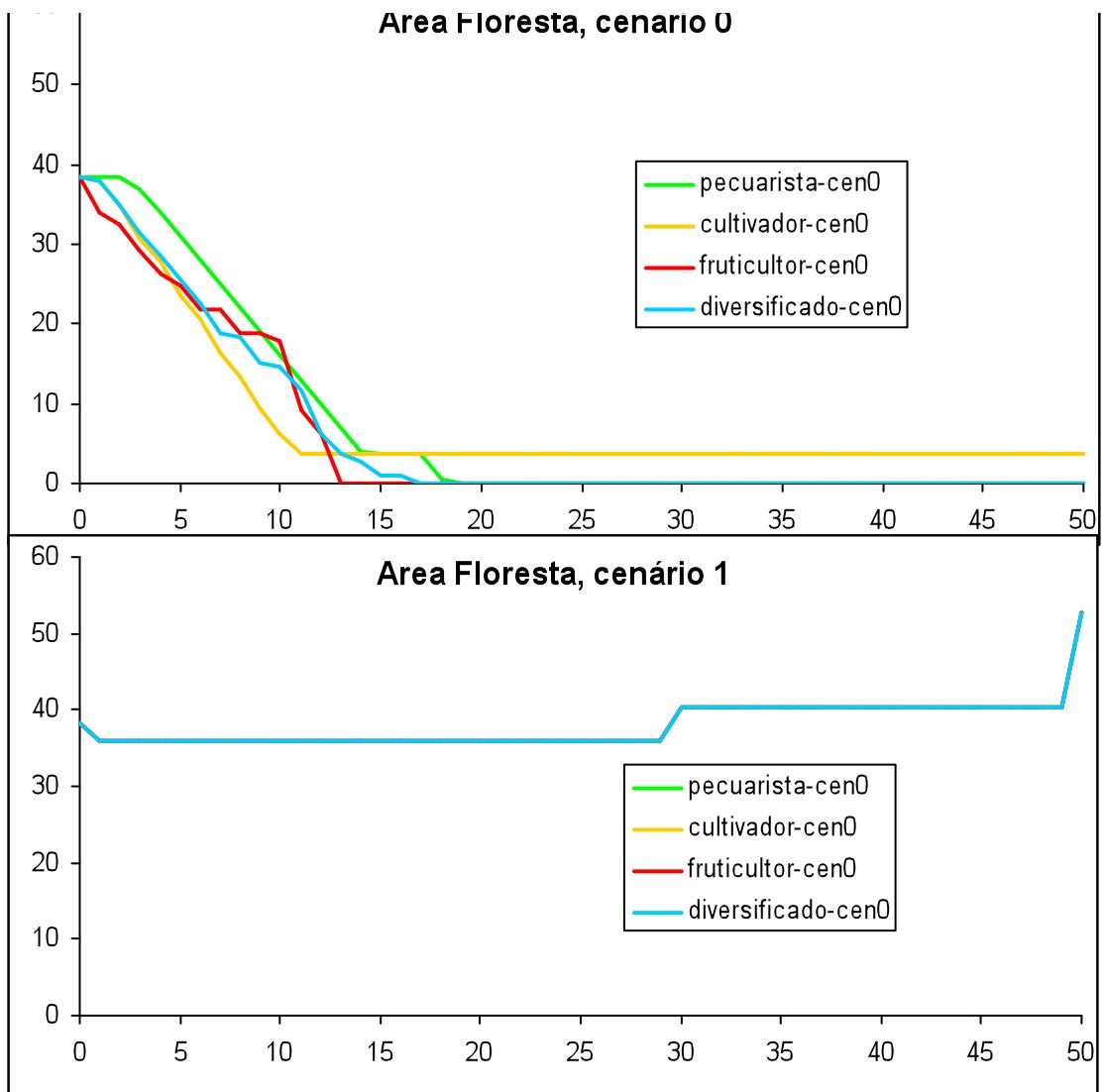


Ilustração 12: Área em floresta por propriedade, em função cenário 0 e 1

Assim o respeito estrito da lei pode permitir a conservação da floresta e a recuperação do passivo ambiental, mas o preço é uma perda forte de renda familiar.

### **Como esse modelo pode ser utilizado para acompanhar reflexões sobre o uso da terra na Amazônia?**

Varias perguntas e desafios:

- Para o agricultor: qual pode ser a viabilidade de um certo sistema ao longo do tempo?
- Para os serviços técnicos e de extensão: como apoiar a implantação de um sistema viável?
- Para as empresas privadas: como permitir uma implantação duma produção com qualidade ambiental?
- Para os “policymakers”: quais incentivos podem modificar as trajetórias de uso?

- Para os científicos: será que essas dinâmicas aparecem nas evoluções macro identificadas por satélite?

ComMod (Companion Modeling): Integrar o modelo num processo de acompanhamento.

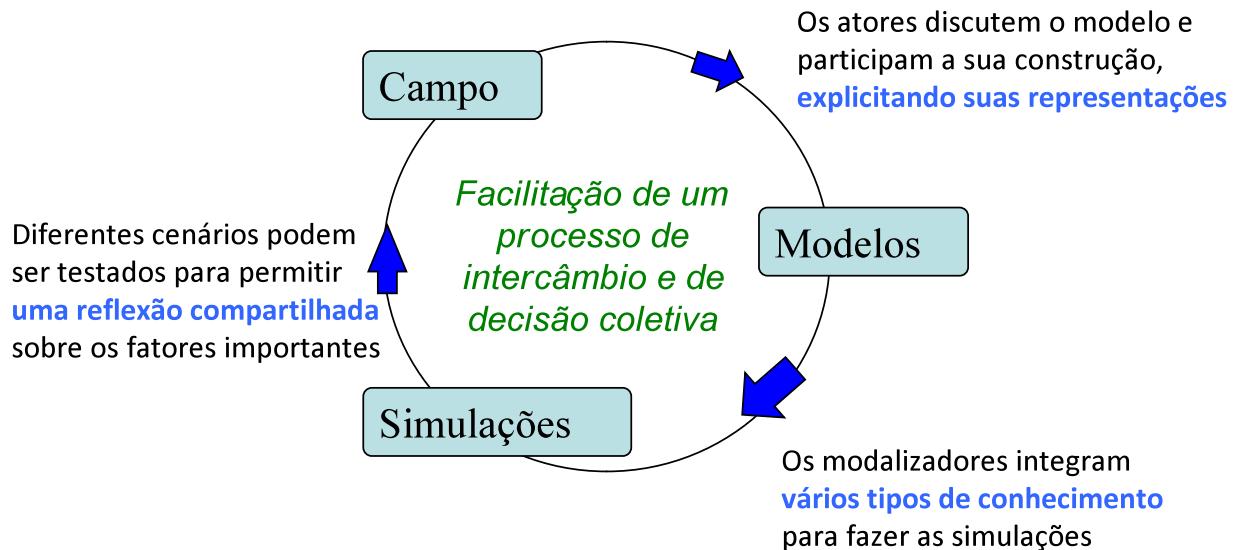


Ilustração 13: Esquema de um processo ComMod

ComMod é um processo a construir passo a passo. Ele permite:

- Mobilizar as pessoas interessadas nessa reflexão
- Oficinas por grupo de atores, para identificar as perguntas importantes para eles
- Pensar em jogos adaptados a essas perguntas
- Ligar os jogos ao modelo, para adaptá-lo à partir das reflexões de cada grupo
- Juntar diferentes grupos de atores interessados por uma mesma pergunta