

Simulação Multiagente de Incêndios Florestais

Inessa D. Luerce¹, Marlon da S. Dias¹, Murian dos R. Ribeiro², Marilton S. de Aguiar²

¹Curso de Ciência da Computação

²Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC)

Grupo de Pesquisa em Computação Aplicada ao Meio Ambiente (CAMA)

Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTEC)

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

{idluerce,mdsdias,mrribeiro,marilton}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *Greenhouse effect is a natural phenomenon where some gases warm the planet and give conditions to the existence of life. One of greenhouse gases carbon dioxide is being released in huge quantities in the air by industries, vehicles and forest fires. In this work, the focus is on forest fires. We propose a model of fire spread through a Multiagent System developed in NetLogo, seeking a better understanding of this phenomenon.*

Resumo. *Efeito estufa é um fenômeno natural onde alguns gases aquecem o planeta e dão condições à existência da vida. Um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, o gás carbônico, está sendo liberado em enormes quantidades no ar por indústrias, veículos e pelos incêndios florestais. Neste trabalho, o foco está sobre incêndios florestais. Propõe-se um modelo de propagação de incêndio através de um Sistema Multiagente desenvolvido em Netlogo, buscando-se uma melhor compreensão deste fenômeno.*

1. Introdução

De acordo com [Millington 2006], “a Inteligência Artificial (IA) lida com computadores capazes de realizar tarefas *pensantes*, as quais, humanos e animais tem capacidade de executar”. Neste âmbito, computadores já resolvem diversos problemas, tais como: cálculos aritméticos, ordenação e pesquisa de dados, etc.

O estudo sobre o gerenciamento de recursos naturais busca melhores formas de administrar terras, águas, animais e plantas, baseado em qualidade de vida das pessoas no presente e nas gerações futuras. Essa área ganhou maior visibilidade com a noção de desenvolvimento sustentável, que é um princípio de como os governos vêem e compreendem o mundo. O gerenciamento dos recursos naturais foca especificamente no entendimento técnico-científico de recursos e ecologia e como estes podem dar suporte à vida animal [Holzman 2009].

Segundo relatório [Autoridade Florestal Nacional 2011], durante o período de 1º de janeiro a 31 de outubro de 2011, foram registrados 25.318 casos de incêndio em Portugal, totalizando 70.193 hectares de área queimada, entre povoamentos e matas. A Tabela 1 mostra alguns dados mais detalhados dos incêndios ocorridos em Portugal, baseado no relatório da AFN. Compreende-se como pequenos incêndios aqueles com áreas menores que um (1) hectare. Para mensurar alguns números no Brasil, entre os dias 1º e 2 de Setembro de 2010 foram registrados quase 2000 focos de incêndio [Neto 2010].

Há uma pequena diferença entre incêndio e queimada. O primeiro, é considerado qualquer fogo de livre propagação sob a influência de clima, relevo e vegetação. Enquanto o segundo faz referência ao uso do fogo sob condições controladas [Rodrigues 2007]. Este trabalho, preocupa-se com a dispersão do fogo, não sendo totalmente considerada sua origem.

Tabela 1. Número de ocorrências por ano e totais anuais entre 2001 e 2010 [Autoridade Florestal Nacional 2011].

Anos	Incêndios Florestais	Pequenos Incêndios	Total
2001	6093	18022	24115
2002	6518	20019	26537
2003	5313	20831	26144
2004	4870	16290	21160
2005	8147	27350	35497
2006	3481	16809	20290
2007	2286	12204	14490
2008	2391	11564	13955
2009	5828	20172	26000
2010	3942	17921	21863

A dispersão de incêndio é um fenômeno que merece receber atenção. Não apenas por sua importância econômica e social, deve-se atentar a ele também por conta de sua complexidade, dificuldade de modelagem e poder computacional exigido para a simulação [Dunn and Milne 2004]. Além disso, é importante considerar todos os impactos ambientais relacionados aos incêndios, tais como: ameaça à fauna e flora local, comprometimento do equilíbrio ecológico e ainda, sua relação com o efeito estufa. Deve-se considerar, também, os elevados números de ocorrência de incêndios.

Pensando em tudo isso, torna-se necessário estudar e entender o processo de dispersão para tentar prever as possíveis consequências e tentar combatê-las. Com isso, a simulação aparece como uma boa opção, visto que as observações de campo sofrem muitas dificuldades.

2. Modelagem Baseada em Agentes

Atualmente, a modelagem baseada em agentes tem recebido bastante atenção, pois trata-se de uma ferramenta eficiente em lidar com sistemas de alta complexidade, além de permitir a multidisciplinaridade.

Sistemas Multiagentes (SMA) tratam do comportamento de um conjunto de agentes, independentes e com diferentes características, evoluindo em um ambiente comum. Esses agentes interagem entre si e buscam executar suas tarefas de forma cooperativa, compartilhando informações, evitando conflitos e coordenando a execução das atividades [Gilbert and Troitzsch 2000]. Assim, o uso de simulação multiagente como ferramenta de apoio à tomada de decisão é bastante útil, pois ela possibilita verificar detalhes com grande precisão do problema simulado.

Cada agente é distinto e age por conta própria. O conjunto de características individuais permite que a resposta de um agente não seja necessariamente a mesma de um outro. Eles podem se mover e perceber o ambiente, assim como procurar e perceber os objetos ao seu redor, podendo interagir com eles e com os outros agentes.

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo desenvolvido para simulação de incêndios florestais. Para obter esse modelo, foi definido o NetLogo como ambiente de simulação. Este é um ambiente de modelagem baseado em agentes, desenvolvido para a simulação de fenômenos naturais, criado por Uri Wilensky (em 1999) da Northwestern University, é escrito em Scala, em sua maioria, com algumas partes em Java. É *Freeware* e *open source*.

3. Incêndios Florestais

Florestas tem sido cada vez mais reconhecidas como um espaço importante para a manutenção dos recursos naturais e qualidade de vida no planeta. Quase um terço da superfície terrestre está coberta por florestas. As florestas tem uma grande relevância do ponto de vista ambiental, econômico e social [Oliveira 2005].

Ambientalmente, as florestas abrigam uma enorme biodiversidade e são de grande relevância para o equilíbrio ecológico. Além disso, têm um papel notório na proteção dos solos contra a erosão e na regularização dos ciclos hidrológicos.

Do ponto de vista econômico, as florestas tem relevância na produção de: celulose, papel, carvão vegetal, entre outros tipos de madeira. O Brasil é o maior produtor mundial da celulose de fibra curta (Eucalyptus) e carvão vegetal, com uma produção total de celulose em 2010 de 14,1 milhões de toneladas [ABRAF 2011].

Há, também, a importância social. A qualidade do espaço físico que as zonas florestais proporcionam é um fator de motivação para a prática de esportes e atividades de recreio e lazer, bem como um catalizador para o turismo [Oliveira 2005].

A origem de um foco de incêndio, independente da causa, não obriga a considerar que o fogo irá propagar-se, pois, existem vários fatores para decidirem essa evolução, tais como: relevo, vegetação em volta, condições meteorológicas.

Os motivos que desencadeiam o início de um incêndio podem ser os mais diversos, sendo compreendida a sua origem em dois principais grupos: causados pelo homem e causas naturais. As causas naturais, muitas vezes, podem até servir para manutenção do equilíbrio de ecossistemas. Entretanto, grande parte dos incêndios provém da ação humana. Com isso, torna-se importante existir medidas de controle de incêndios, bem como, deve-se também, ser feita a conscientização da população para evitar acidentes que podem acabar gerando desastres.

4. NetLogo

NetLogo é uma linguagem e ambiente de multiagentes para simulação de fenômenos naturais e sociais, apresentando-se como uma boa ferramenta para modelagem de sistemas complexos que evoluem no tempo. Ainda, é um ambiente de desenvolvimento simples suficiente para permitir que estudantes e pesquisadores criem seus próprios modelos, mesmo estes não sendo programadores profissionais. Tendo sido desenvolvido com o intuito de ser usado tanto na pesquisa quanto no ensino, este, apresenta-se popular em

uma distinta gama de níveis de ensino, bem como, é utilizado em grande variedade de disciplinas [Tisue and Wilensky 2004].

A ferramenta possui uma biblioteca com diversos modelos prontos que permite aos novos usuários se ambientarem com ela. Esses modelos são funcionais, possuem uma documentação sobre seu funcionamento e, também, são possíveis de serem alterados pelo programador. Essas simulações estão compreendidas, principalmente, nas ciências naturais e sociais, incluindo biologia, medicina, física, química, matemática, ciência da computação, economia e psicologia social [Tisue and Wilensky 2004].

NetLogo permite trocar informação com outras aplicações. A linguagem possui comandos que permitem escrever e ler arquivos de texto, que podem ser facilmente abertos e analisados por outros programas. Além disso, os modelos podem ser exportados para um aplicativo Java que pode ser executado em qualquer navegador *web*.

O ambiente NetLogo tem seu código escrito em Java e em Scala (códigos Scala compilam para Java byte code e são completamente interpretados por Java), o que permite ao ambiente ser executado na maioria das plataformas. Ele é gratuito, possibilitando que qualquer pessoa interessada possa adquiri-lo e começar a desenvolver seus modelos sem nenhuma restrição, tendo como suporte ainda, sua vasta documentação. A Tabela 2 traz uma análise comparativa do NetLogo com as demais ferramentas para modelagem baseadas em agentes.

Tabela 2. Comparação entre alguns ambientes de modelagem baseada em agentes [Sapkota 2010].

Plataformas MBA	Ascap	Mason	Repast	NetLogo	SWARM
Quantidade de Usuários	Baixa	Crescente	Grande	Grande	Baixa
Linguagem	Java	Java	Java Python	NetLogo	Java Objective C
Rapidez de execução e programação	Moderada	Mais rápido	Rápido	Moderado	Moderado
Facilidade de aprendizagem	Moderada	Moderada	Moderada	Boa	Baixa
Documentação	Boa	Pouca	Pouca	Muita	Boa

Com base na Tabela 2, é possível notar diversas vantagens em relação aos demais ambientes de simulação, tais como: maior número de usuários, rapidez de execução e programação, facilidade de aprendizagem e documentação. Considerando estas e as demais características descritas anteriormente, observa-se que o NetLogo é uma boa alternativa para trabalhar-se com o simulação multiagente.

5. O Modelo

O modelo proposto por este trabalho ainda apresenta-se em fase de desenvolvimento, o que faz com que, os resultados apresentados aqui sejam parciais, bem como uma representação do que espera-se de seu comportamento ao longo do desenvolvimento do

projeto. Para a construção das regras utilizadas no modelo, os autores buscaram base nos trabalhos de [Louzada and Junior 2008] e [Salles et al. 2008]. Tem-se uma síntese das regras expostas nos trabalhos citados, com algumas adaptações, aplicadas no NetLogo.

5.1. Modelo Atual

Neste trabalho, foram estipulados três possíveis agentes com características distintas: árvore, casa ou solo. Os agentes “árvore” e “casa” têm uma certa chance de pegar fogo, por outro lado, o agente “solo” pode mudar sua condição e tornar-se um agente “árvore” ou “casa”. Atualmente, a criação do cenário do modelo é feita de forma aleatória, os agentes são distribuídos em cada ponto do plano com uma chance do solo virar árvore ou casa. Assim, é possível gerar diferentes cenários para a execução. Esta não é a ideia final do trabalho, pretende-se mudar a forma de geração do cenário de entrada, como descrito mais a frente.

No modelo, além dos agentes citados, há a presença de uma estrada e um lago. Estes, são gerados antes da criação dos agentes, o que faz com que, o restante do cenário não utilizado para sua criação seja o espaço que será preenchido pelos agentes. O formato e a localização de cada um também é gerado de forma aleatória contribuindo para a diversificação de cenários. A Figura 1 mostra um possível cenário da simulação.

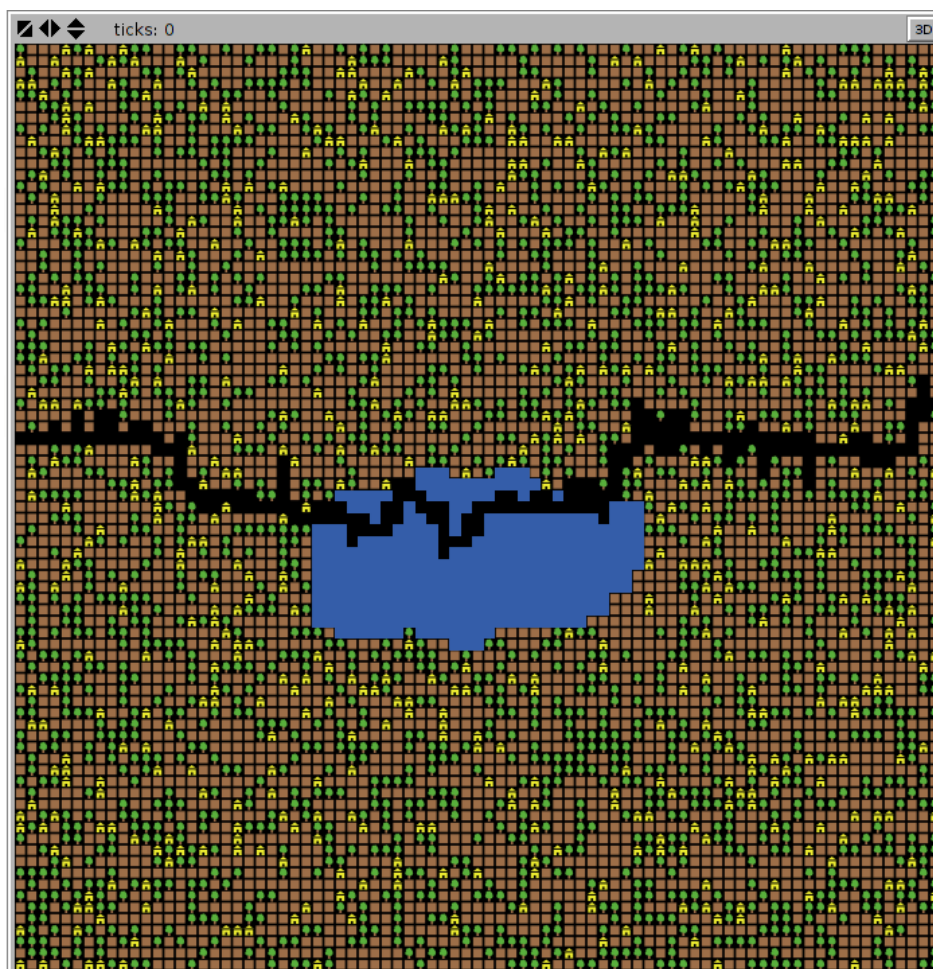


Figura 1. Visão inicial do ambiente da simulação.

Cada agente possui informações próprias. Aos deste modelo, foram especificados os seguintes atributos:

- *Idade*: este atributo define a idade do agente e é aplicável às árvores e casas. A idade do agente influencia na chance de pegar fogo, pois, quanto mais velho ele for maior será o material orgânico gerado em torno dele (no caso de árvores) ou mais depreciada será a tecnologia utilizada na construção (fiação ou material empregado na construção), facilitando a combustão. Quando um agente estiver pegando fogo, a idade servirá para contar o tempo em que ele permanecerá em chamas. Para agentes do tipo solo, também serve como um contador, contará o tempo que ele leva para modificar seu estado;
- *Tipo*: define se o agente é árvore (0), casa (1) ou solo (2);
- *Status*: atributo dos agentes árvore e casa. Define se o agente está queimando (1) ou não (0). Tendo por base que o solo não pega fogo, este atributo é desconsiderado no agente solo.

É possível, para a pessoa que for utilizar o modelo, variar certas características, permitindo representar diferentes tipos de florestas com o mesmo modelo. Como pode ser observado na Figura 2 são mostrados os parâmetros que podem ser alterados.

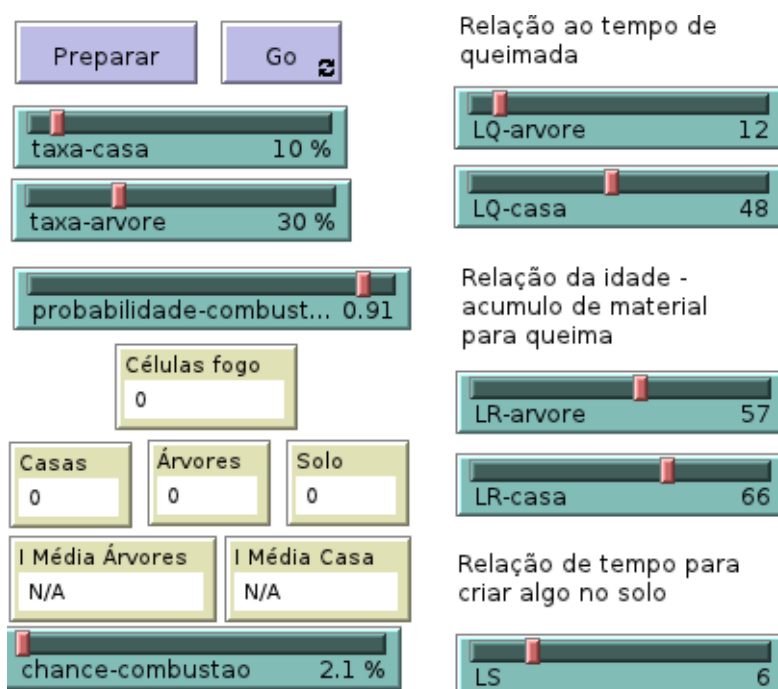


Figura 2. Parâmetros de entrada do modelo.

Os botões tem suas funcionalidades sugestivas a seus nomes (vide Figura 2). O botão *Preparar* serve para inicializar a simulação, ele gera o ambiente e inicializa certas variáveis, como contadores. O botão *Go* inicializa o processo de simulação e executa todas as regras do modelo. O símbolo no canto inferior direito do botão indica que ele, depois de acionado, só será desativado quando o programa chegar a seu estado final. Caso esta característica esteja desativada, o programa irá parar sua execução após a primeira iteração, ou *tick*, como é conhecida tal característica.

Ainda como apresentamos na Figura 2, existem seis monitores que mostram os valores atuais de: células pegando fogo, quantidade de agentes casa, árvore e solo, bem como, a idade média dos agentes casa e árvore.

Por fim, há nove *sliders* (barras verdes em que se pode deslizar o indicador para setar seus valores). Cada um representa uma variável no modelo, e é através deles que se informa as características de cada floresta para o modelo. As variáveis são:

- *taxa-casa*: indica a taxa de casas que serão criadas na geração do ambiente;
- *taxa-arvore*: indica a taxa de árvores que serão criadas na geração do ambiente;
- *probabilidade-combustao*: indica a probabilidade de ocorrer combustão no ambiente (será detalhado a frente);
- *chance-combustao*: indica a probabilidade de ocorrer combustão espontânea no ambiente (será detalhado a frente);
- *LQ-arvore*: indica o tempo em que uma árvore ficará queimando;
- *LQ-casa*: indica o tempo em que uma casa ficará queimando;
- *LR-arvore*: indica a idade máxima que uma árvore atingirá;
- *LR-casa*: indica a idade máxima que uma casa atingirá;
- *LS*: indica o tempo que levará para um solo mudar.

Após a geração do ambiente o modelo começa a evoluir baseado nas seguintes regras:

- *Árvores e Casas*: uma árvore ou casa possui uma certa chance de pegar fogo. Essa chance é baseada em dois fatores: i) na idade do agente, quando mais velho ele for maior a chance dele pegar fogo; e, ii) na quantidade de vizinhos com fogo;
- *Solo*: um agente solo pode virar árvore ou casa. Entretanto, ele permanece como solo por um dado tempo, definido por *LS*. Se houver mais árvores que casas ao redor do solo, ele torna-se árvore; se houver mais casas, torna-se casa. Caso as quantidades de árvores e casas sejam iguais, o agente define em qual se tornar, mediante um sorteio. Cada nova árvore ou casa criada começa com idade em 1.
- *Fogo*: um agente que está pegando fogo continua pegando fogo por um tempo, definido por seu *LQ*, determinado pelo usuário. Assim que atingir o tempo limite, o agente volta a ser solo podendo, assim, virar árvore ou casa em uma futura interação.

No modelo, ainda há estrada e lago. Eles são imutáveis, com isso, servem de barreira para o alastramento do fogo. Além das regras citadas acima, o modelo ainda evolui baseado em outros fatores:

- *Autocombustao*: em cada iteração do modelo há a chance de um determinado agente entrar em combustão espontaneamente, isso se dá pelas características, como citado anteriormente, que este agente pode adquirir. Essa probabilidade é definida com base na variável *chance-combustao*;
- *Idade Máxima*: para agentes do tipo casa e árvore são informados valores que caracterizam suas idades máximas, definidos por seus respectivos *LR*. Atingida a idade máxima, ela volta para um. Essa característica visa mostrar uma renovação dos agentes, trata de uma restauração na árvore ou uma reforma na casa.

A possibilidade do usuário poder interferir com valores no modelo visa gerar diferentes ambientes para a realização da simulação, pois diferentes florestas possuem diferentes características e, assim, um modelo mais flexível.

As variações das quantidades do agentes no modelo são informadas através de um monitor e podem ser facilmente registradas em um gráfico, além delas, também são registradas as idades médias das árvores e casas. Na Figura 3, são mostrados exemplos de gráficos gerados por algumas interações do modelo.

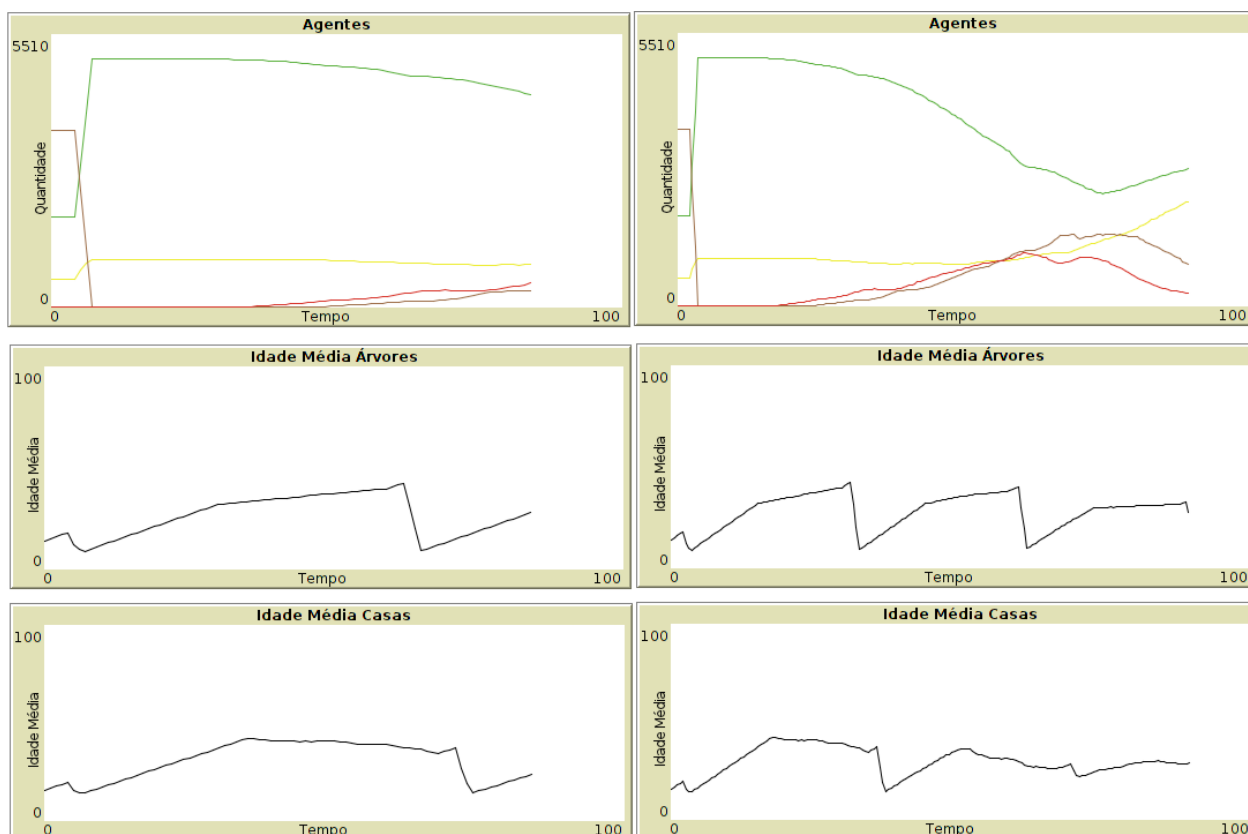


Figura 3. Apresentação dos gráficos.

5.2. Alterações Futuras

Pretende-se fazer algumas verificações a mais no modelo e também o estudo de implementações de novas regras. Como principais regras, pretende-se adicionar o fenômeno da chuva. E, também, adicionar atributo de altitude. Com estas duas características implementadas, torna-se possível levar em consideração outros fatores para a execução do modelo, como o fato de alagamentos em determinadas regiões.

Além de alterações nas regras, o NetLogo permite comunicação com outros programas. Pretende-se recolher dados de um Sistema de Informações Geográficas para gerar um cenário mais próximo do real para a simulação, deixando-a mais próxima da realidade. E, depois, exportar a simulação para um arquivo KML (*Keyhole Markup Language*) de forma a visualizá-la no Google Earth, facilitando sua visualização.

6. Considerações Finais

Esta é uma pesquisa exploratória da modelagem da propagação de incêndios com o uso de sistemas multiagentes onde se busca entender o comportamento de diferentes incêndios em diferentes ambientes. Como continuidade da pesquisa pretende-se realizar o estudo

com base em um ambiente real e, para obter tal resultado, visa-se integrar o modelo com informações disponíveis em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Assim, o ambiente é gerado pela coleta de dados de uma floresta existente, executa-se o modelo, e pretende-se, também, mostrar essa simulação no Google Earth, com o intuito de tornar mais fácil a visualização do resultado do modelo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERGS (PRONEX, processo nr. 10/0049-7) pelo auxílio em forma de bolsa.

Referências

- ABRAF (2011). *Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010*. ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília.
- Autoridade Florestal Nacional (2011). Relatório provisório de incêndios florestais. Technical report, Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, Portugal.
- Dunn, A. and Milne, G. (2004). Modelling wildfire dynamics via interacting automata. *Cellular Automata*, pages 395–404.
- Gilbert, G. N. and Troitzsch, K. G. (2000). Simulation for the social scientist. *J. Artificial Societies and Social Simulation*, 3(3).
- Holzman, B. A. (2009). *Natural Resource Management*. San Francisco State University, San Francisco.
- Louzada, V. H. P. and Junior, W. C. F. (2008). Incêndios florestais em autômatos celulares, simples e grandes queimadas.
- Millington, I. (2006). *Artificial Intelligence for Games (The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology)*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Neto, G. (2010). Florestas ardem em todo o país. In *Notícias*. WWF – Fundo Mundial para a Natureza, Brasília.
- Oliveira, M. d. G. d. A. (2005). Propagação do fogo e dinâmicas florestais. Master's thesis, Faculdade de Engenharia.
- Rodrigues, A. N. C. (2007). *Considerações sobre prevenção e combate aos incêndios florestais no Estado do Rio de Janeiro*. UFRRJ – Instituto de Florestas, Rio de Janeiro.
- Salles, K. S., Oliveira, U. F., and Aguiar, M. S. (2008). Uma extensão do modelo de chopard para propagação de incêndio ambiental baseado em autômatos celulares com alto desempenho. In *IV Sul-Comp 2008 - Congresso Sul Brasileiro de Computação*, pages 1–7, Criciúma / SC. UNESC, Editora da UNESC.
- Sapkota, P. (2010). *Modeling Diffusion Using an Agent-Based Approach*. PhD thesis, University of Toledo.
- Tisue, S. and Wilensky, U. (2004). Netlogo: A simple environment for modeling complexity. In *International Conference on Complex Systems*, Boston.