

# Estudo para Simulação de Mercados Econômicos através de Agentes Computacionais

Iverton Adão da Silva dos Santos<sup>1</sup>, Antônio Carlos da Rocha Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Apoio a Projetos de Informática (NAPI)  
Centro Politécnico (CPOLI)  
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)  
Rua Félix da Cunha, 412 – 96010-000 – Pelotas – RS – Brasil

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf)  
Centro Politécnico (CPOLI)  
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)  
Rua Félix da Cunha, 412 – 96010-000 – Pelotas – RS – Brasil

`iverton@ucpel.tche.br`, `rocha@atlas.ucpel.tche.br`

**Abstract:** *This article presents our study to develop simulation models of economic markets. All the features of the market models revolve around concepts of Microeconomic Theory, which explains the behavior of producer and consumer agents. The models are being developed using techniques of agent-based simulation. The simulation and modeling tool is NetLogo, which provides means to support participatory simulations.*

**Keywords:** *Economic Market Simulation, Agent-based Simulation, Participatory Simulation, NetLogo.*

**Resumo:** Este artigo apresenta nosso estudo para desenvolvimento de modelos de simulação de mercados econômicos. Todas as características dos modelos de mercado giram em torno de conceitos da Teoria Microeconômica a qual explica o comportamento dos agentes produtores e consumidores. Este modelo é desenvolvido utilizando-se técnicas de Simulação baseada em Agentes. A ferramenta de modelagem e simulação utilizada é o NetLogo, que provê recursos para suporte a simulações participativas.

**Palavras-chave:** Simulação de Mercados Econômicos, Simulação Baseada em Agentes, Simulação participativa, NetLogo.

## 1. Introdução

A utilização dos recursos de simulação é uma alternativa para ajudar a compreender os fenômenos do universo, especialmente quando se trata de analisar sistemas complexos [Gilbert 2005]. Recursos de simulação possibilitam reproduzir aspectos de uma população de um ecossistema real para um artificial, assim pode-se com mais facilidade e menos risco explorar hipóteses do ecossistema simulado. Hoje, os ambientes de simulação são vistos como ferramentas de apoio à aprendizagem de grande importância.

Uma das formas de simulação é a Simulação Baseada em Agentes [Gilbert 2005]. A idéia principal do modelo de simulação baseado em agentes é utilizar-se de agentes e obter uma simulação através das diversas ações e interações produzidas entre estes em um determinado ambiente.

Este trabalho propõe-se em gerar uma simulação de mercado utilizando-se a proposta de simulação baseada em agentes. Nesta simulação são modelados agentes econômicos em diferentes

estruturas de mercado a fim de analisar os resultados das influências de cada uma delas sobre os comportamentos dos agentes. No entanto, o trabalho visa simular interações econômicas puras, de modo que influências de entidades como o governo ou do ambiente ecológico não são consideradas. A simulação também permitirá que os agentes sejam controlados individualmente por usuários em diferentes computadores, de forma que cada usuário possa manipular alguns de seus parâmetros, tais como renda disponível ou preferência por determinado produto do mercado.

Existem diversos ambientes de programação que foram projetados para trabalhar-se com modelagem baseada em agentes. Neste trabalho optou-se pelo estudo da ferramenta NetLogo, sendo a escolha por motivos que o favorecem tais como: facilidade de programação, portabilidade, e possuir acesso e uso gratuitos.

Na seção 2 são descritos fundamentos sobre Simulação Baseada em Agentes, a ferramenta NetLogo e Teoria Microeconômica, os quais são base para os modelos de mercados a serem simulados. Na seção 3 descreve-se a metodologia de desenvolvimento que está sendo utilizada para desenvolver o modelo de simulação. Na seção 4 são demonstrados alguns aspectos já desenvolvidos do modelo. Por fim, na seção 5 tem-se considerações finais sobre o que se espera do modelo.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Simulação baseada em modelagem de agentes

No contexto de Inteligência Artificial, pode-se definir agentes como entidades computacionais que, inseridos em um ambiente, são capazes de perceber e atuar sobre o mesmo. Um agente computacional possui atributos como operar sob controle autônomo, perceber seu ambiente, persistir por um período de tempo prolongado, adaptar-se a mudanças e ser capaz de assumir metas. [Russel, Norvig 2003]

Na simulação baseada em agentes, há a característica de haverem muitos agentes interagindo uns com os outros [Parunak 1998], ou seja, é uma simulação de um sistema multiagente (SMA). Com este tipo de simulação pode-se analisar, de que forma cada agente, o qual pode representar uma pessoa, bactéria, inseto ou outro qualquer, interage com o outro e com o seu ambiente. Assim, através desta análise é possível descobrir propriedades do modelo e conseqüentemente obter-se entendimento do processo simulado.

### 2.2 NetLogo

O NetLogo é um ambiente através do qual pode-se programar simulações. Este permite, de uma maneira fácil, realizar a modelagem baseada em agentes, isto porque não exige avançados conhecimentos de programação e matemática. Nele podem ser dadas instruções a centenas ou milhares de agentes, os quais trabalham paralelamente [Wilensky 1999]. No NetLogo pode-se, por exemplo, explorar o comportamento de um agente (micro-nível) e o que este emerge no comportamento de todo o sistema (macro-nível).

O NetLogo é composto por três entidades denominadas *observer*, *turtles* e *patches*. O *observer* é uma espécie de “criador” que especifica condições e da funcionamento aos demais elementos. Os agentes do tipo *Turtles* (tartarugas) são criaturas que foram derivados da tartaruga existente na linguagem Logo, estes recebem instruções e as executam. Já os *patches* formam uma espécie de grade e juntos consistem no ambiente onde as diversas *turtles* criadas ficam sobrepostas.

Ao programa-se no NetLogo pode-se também atribuir um formato gráfico diferente para os agentes, ou seja, a tartaruga pode assumir a forma de diversas figuras. Estas figuras podem ser selecionadas de uma biblioteca do ambiente, há também a possibilidade de editá-las para obterem um

formato mais próximo ou que satisfaça o contexto a ser simulado.

Uma característica que vale ressaltar no NetLogo é o recurso trabalhar com conjuntos de agentes denominado *Agentset*. Com este recurso pode-se fazer com que grupos de *turtles* ou *patches* que correspondem a uma determinada característica ou estado realizem determinadas ações, por exemplo, fazer com que as *turtles* com cor vermelha desloquem-se cinco passos para a frente.

Entre seus diversos recursos, existem também extensões que dão suporte a funcionalidades mais específicas. Uma das extensões do NetLogo é a Hubnet, esta extensão possibilita a criação de simulações participativas. Nas simulações participativas ha uma série de usuários participando da simulação, de forma que cada um controla uma parte, parâmetro, ou agente do modelo. Deste modo, os diversos controles fornecidos pelo grupo de usuários é que determinam o comportamento do sistema simulado.

O funcionamento do HubNet é baseado na arquitetura cliente-servidor, onde uma máquina com o NetLogo, funciona como um servidor, este recebe as diversas instruções de cada usuário, que são mensagens recebidas através de um aplicativo denominado HubNet *Client*, e as aplica no modelo simulado. Os usuários podem participar da simulação enviando comandos através de um computador, ou através um tipo especial de componente gráfico denominado “*Calculator HubNet*”.

## 2.3 Microeconomia

A Microeconomia é um dos ramos das ciências econômicas que estuda as células produtoras e consumidoras de bens e serviços econômicos. Por exemplo, ela esclarece decisões de compra do consumidor e de que maneira suas escolhas são influenciadas pelas variações de preços e rendas; explica também a maneira que os produtores determinam uma quantidade de produtos a um determinado preço [Pindyck, Rubenfield, Daniel L 1999].

Segundo [Fleury 2004] pode-se subdividir a teoria microeconômica em três grandes tópicos, que nos permitem uma visão mais profunda de cada item em particular, estes são: Demanda, Oferta, e Mercado.

Dessa forma, pode-se analisar a teoria microeconômica em 3 etapas de estudos:

1º A teoria do consumidor – que trata da demanda

2º A teoria do produtor – que estuda a oferta

3º A formação de preços e mercados – que analisa o comportamento do mercado.

### 2.3.1 Teoria do Consumidor e Teoria do Produtor

Em economia, consumidor é qualquer indivíduo que possui renda e, desta forma, tem condições de interagir no mercado adquirindo mercadorias ou serviços. Segundo a Teoria do Consumidor, com o propósito de satisfazer suas necessidades, o consumidor vai ao mercado e, em função de vários fatores define uma certa quantidade de um produto ou serviço econômico, num determinado instante de tempo qualquer; o que vem a determinar a função demanda.

A demanda é, em essência, o ato do agente econômico denominado consumidor. Segundo [Fleury 2004], são infinitos os fatores que podem implicar na demanda devido as inúmeras diferenças entre os consumidores. Contudo, [Fleury 2004] afirma que pode-se definir seis fatores básicos que formam um modelo teórico fundamental e que todos os demais infinitos fatores que possam de uma forma ou outra influenciar a quantidade demandada de um produto econômico assemelham-se a esses seis fatores básicos. Estes fatores são: O preço da mercadoria; A renda disponível do consumidor; O número de consumidores no mercado; A quantidade de variações ou tipos de mercadorias; O gosto e a

preferência do consumidor e O tipo de relacionamento que existe entre produtores e consumidores.

Na teoria microeconômica utiliza-se alguns recursos para simplificar a análise de uma função com diversas variáveis, de tal forma que ela passa a ser analisada sobre o efeito de apenas uma única variável e todas as demais permaneçam constantes (condição “*ceteris paribus*”) [Salvatore 1984]. Utiliza-se um modelo simplificado, onde apenas um fator influencie de cada vez a função, sendo assim possível estabelecer-se uma análise rápida de suas influências.

Sabe-se, por exemplo, que a demanda de uma mercadoria é normalmente mais afetada por seu preço e pela renda dos consumidores [Fleury 2004]. Para fazer a análise do efeito do preço sobre a demanda, se supõe que a renda permanece constante (“*ceteris paribus*”); da mesma maneira, para avaliar a relação entre a demanda e a renda dos consumidores, supõe-se que o preço da mercadoria não varia. Tem-se, desta forma, o efeito "exclusivo" de cada uma dessas variáveis sobre a demanda.

A teoria do produtor explica o comportamento dos produtores de bens e serviços econômicos. Segundo esta teoria, um produtor de um bem ou serviço econômico estará disposto a disponibilizar no mercado uma determinada quantidade de produtos a um certo preço e em relação a diversos fatores implícitos na obtenção da produção, durante um período de tempo; o que vem determinar a função oferta [Salvatore 1984].

A função oferta do produtor tem o preço como seu fator mais relevante, no entanto este é afetado diretamente por outros fatores como custo de matéria prima ou insumos, custo de mão de obra, número de máquinas empregadas na produção, tecnologia empregada e inúmeros outros fatores. Para fins de obtenção de uma análise mais rápida e simplificada, também utiliza-se a condição “*ceteris paribus*” para obter resultados sobre a função oferta.

### **2.3.2 Mercado e Estruturas de Mercado**

Os consumidores e produtores interagem em conjunto originando mercados. “Um mercado é, pois, um grupo de compradores e vendedores que, por meio de suas reais ou potenciais interações, determina o preço de um produto ou de um conjunto de produtos”. [Pindyck, Rubenfield, Daniel L 1999]

Em um ambiente de mercado os produtores produzem bens ou serviços e os consumidores os trocam por moedas para satisfazerem suas necessidades, daí a interação entre os agentes. No entanto, existem formas distintas de organização de mercado, onde, em cada uma, há características diferentes que influenciam em como os agentes produtores e consumidores irão se portar.

Há modelos nas Ciências econômicas denominados estruturas de mercado, os quais captam características observadas nos diferentes tipos de organização de mercados existentes. As estruturas de mercado são condicionadas basicamente por os seguintes fatores principais: número de produtores e consumidores que atuam no mercado, diferenciação do produto e existência ou não de barreiras à entrada de novas empresas [Pindyck, Rubenfield, Daniel L 1999]. As principais formas de mercados são: concorrência perfeita, monopólio, oligopólio, concorrência monopolística e monopsonio.

Segundo [Salvatore 1984] na estrutura de concorrência perfeita há uma grande quantidade de produtores e consumidores. E individualmente estes são pequenos em relação ao mercado, de forma que não podem influenciar no preço. Sendo assim, um único produtor agindo com variações na produção não afetará de forma perceptível o preço do mercado do produto. Analisando do lado do consumidor pode-se dizer que ele apresenta-se pequeno para influenciar na obtenção de algum benefício em relação ao preço do produtor.

Segundo [Pindyck, Rubenfield, Daniel L 1999], o monopólio é uma estrutura de mercado que tem as características de existência de apenas um produtor e a impossibilidade de outro entrar no mercado devido a barreiras que são impostas. O produtor desta estrutura não tem concorrência e por este motivo é favorecido. Desta forma, tem um poder de exercer um certo controle sobre o preço do

produto, cobrando o maior preço possível dos consumidores.

O Oligopólio é uma estrutura de mercado que se caracteriza por existir um pequeno número de produtores, e seus produtos são substitutos entre si. O número pequeno é devido o fato da existência de barreiras para a entrada de outros produtores. As decisões de preço do produto nesta estrutura são estratégicas, no sentido que uma empresa quando resolve definir um novo preço ela considera a forma como as demais irão reagir. Como são poucos produtores, a ação individual de cada um deles tem uma grande influência no mercado. No oligopólio, se houver uma grande competição entre as empresas, ocorrerão resultados próximos aos da concorrência perfeita, ou seja, preços baixos e grandes quantidades vendidas. Porém os produtores podem escolher trabalhar de forma cooperativa e fixarem preços formando um cartel, neste caso eles obtém mais lucro.

Na concorrência monopolística como na concorrência perfeita, não há barreiras para a entrada de novos produtores no mercado. Desta forma há também um número muito grande de produtores competindo. Porém cada um disponibiliza um produto com características individuais. Os produtos são diferenciados dos demais em questões de qualidade, aparência etc. Por exemplo, marcas diferentes de creme dental, medicamentos para gripe e sabão em pó.

Esta é uma estrutura mais perto da realidade do que a concorrência perfeita. O poder de cobrar um preço maior surge apenas da capacidade de diferenciar seus produtos, em relação aos da concorrência. A diferenciação de produtos pode ser por características físicas, como composição química etc, também pode ocorrer pela embalagem, ou pela propaganda. Neste sentido, se o consumidor conseguir diferenciar seu produto de uma forma bem sucedida alcançará mais lucros. Nesta estrutura os consumidores têm mais alternativas, pois os produtos embora não sejam exatamente iguais, são substitutos bem próximos, isto permite escapar de preços mais altos.

A estrutura de mercado denominada monopsônio tem a característica de possuir apenas um consumidor. Neste tipo de mercado o consumidor, pelo fato de ser o único comprador, possui grande força de impor preço a pagar pelo produto. O poder de monopsônio possibilita ao comprador adquirir a mercadoria por valor inferior ao preço em um mercado competitivo.

### **3. Metodologia de Desenvolvimento**

O trabalho é realizado em etapas que são passos simples e incrementais de implementação, de forma que cada uma adiciona uma nova propriedade ou característica ao modelo. O propósito deste método é trabalhar-se sempre de forma a não tornar o modelo complexo que seja difícil de ser entendido e modificado.

Outro aspecto importante do método de implementação é que ele tem como base de desenvolvimento o princípio da análise "*ceteris paribus*". Ou seja, está sendo desenvolvida a implementação da simulação para analisar os efeitos de cada um dos fatores por vez. Após a conclusão da análise dos fatores individuais, é então feita a análise sobre o ponto de vista de influência de mais de um fator. No primeiro momento o fator de relevância é o fator preço.

Em um último passo coloca-se os agentes em diferentes estruturas de mercado a fim de analisar os resultados das influências de cada uma. Nas próximas seções descreve-se alguns detalhes mais específicos de cada uma das etapas.

#### **3.1 Etapa 1**

Na etapa 1 começa-se os primeiros movimentos do modelo de simulação de mercado. De forma que serão implementados aspectos básicos de representação de um agente consumidor no mercado. Nesta etapa o agente não terá uma função demanda que controla suas quantidades a retirar do mercado, esta

etapa visa apenas implementar os seguintes aspectos: forma de movimentação do agente pelo ambiente, aparência física.

O movimento do agente será implementado para que seja de forma aleatória, assim o agente, deve sair caminhando em direções diversas com intuito de apenas animar um consumidor caminhando em busca de um produto. A aparência física do agente será a de um pequeno homenzinho na cor branca.

### **3.2 Etapa 2**

Na etapa 2 é adicionado ao agente consumidor uma função de demanda. Ou seja, tem estabelecido quando irá retirar de mercadorias do mercado a um determinado preço. Também nesta etapa são colocados pontos aleatórios no ambiente, de forma que cada um destes pontos tenha a informação de uma quantidade de mercadoria e um preço. Assim, o consumidor sai caminhando aleatoriamente e ao deparar-se com um ponto ele percebe a quantidade oferecida e o preço respectivo e a partir destes e com base na sua função demanda irá devolver uma resposta dizendo se qual o preço máximo que pagaria pela quantidade estabelecida no ponto e qual a quantidade mínima que compraria por aquele preço.

### **3.3 Etapa 3**

Na etapa 3 os pontos que foram colocados na etapa 2 são aprimorados de forma que representem um produtor. Este terá uma função oferta, a qual especificara para qualquer preço, qual a quantidade que será disponibilizada no mercado. Este produtor é capaz de informar qual quantidade máxima que produz a um determinado preço e o preço mínimo que cobra por uma determinada quantidade.

### **3.4 Etapa 4**

A etapa 4 visa criar uma interação entre um consumidor e um produtor. Está interação ocorre de maneira que o consumidor desloca-se aleatoriamente no ambiente onde estão colocados diversos produtores. Ao o consumidor encontrar-se num mesmo ponto que um determinado produtor então ele envia uma informação de quantidade que deseja comprar, o produtor ao receber esta quantidade, com base em sua função oferta informa ao consumidor o preço a ser pago. O consumidor deve visitar todos os consumidores e armazenar as informações obtidas de maneira que saiba qual o preço de cada um para a determinada quantidade de mercadoria.

### **3.5 Etapa 5**

Na etapa 5 o consumidor decide com base nas informações obtidas de cada produtor, em qual irá realizar a aquisição das mercadorias. Desta forma, movimenta-se até ele e realiza uma negociação de troca de produtos por moedas.

### **3.6 Etapa 6**

Na etapa 6 implementa-se ao consumidor o conceito de necessidade, este irá consumir conforme necessita, e a medida que consome diminui a necessidade. Desta forma a movimentação do agente não será mais contínua, mas sim somente quando tiver a necessidade. Esta necessidade pode ocorrer por consequência de um consumo semanal o diário, por exemplo.

### **3.7 Etapa 7**

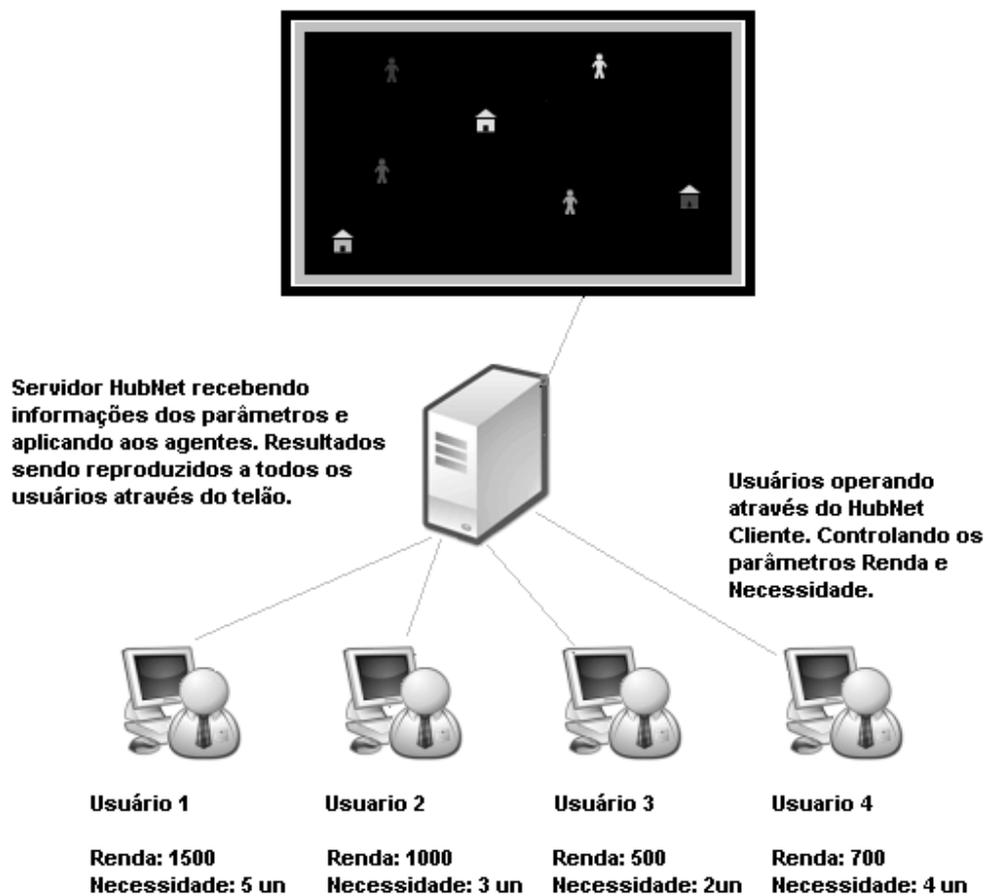
Na etapa 7, são incorporadas as diferentes estruturas de mercado. Esta etapa será subdivida em menores

de forma que em cada uma destas tenha-se a análise de uma estrutura de mercado diferente. Como exemplo, para obter a estrutura de monopólio será colocado apenas um agente produtor em um ambiente com diversos consumidores. Este agente produtor terá informação de que é o único naquele mercado e com base nisso poderá ter um controle maior sobre o preço. Todas as estruturas irão diferir em termos de número de produtores e consumidores, diferenciação de produtos e existência ou não de barreiras de entrada. As influências da variação destes fatores serão analisados neste modelo e serão comparadas com os fundamentos sobre mercado abordados na seção 2.3.2.

### 3.8 Etapa 8

Na etapa 8, o modelo será modificado para permitir a simulação participativa. Desta forma poderá haver vários usuários controlando os agentes consumidores, sendo que cada um poderá manipular através de um computador, fatores como necessidade diária de produtos e renda disponível. A figura 1 demonstra a arquitetura do modelo esperado.

O propósito de utilizar-se usuários controlando estes parâmetros permitirá conseguir uma aproximação mais real do que acontece no mercado, pelo fato de que o agente simulado tem comportamento que será influenciado diretamente por um indivíduo real. Aspectos como gosto e preferência são exemplos de fatores que tem relação direta com o tipo de indivíduo.



**Figura 1** – Arquitetura do modelo com simulação participativa

## 4. Simulações desenvolvidas

Até o presente momento foram desenvolvidos com a ferramenta NetLogo, simulações das etapas 1 e 2 apresentadas na seção 3. Abaixo tem-se a figura 2 que demonstra o modelo implementado.

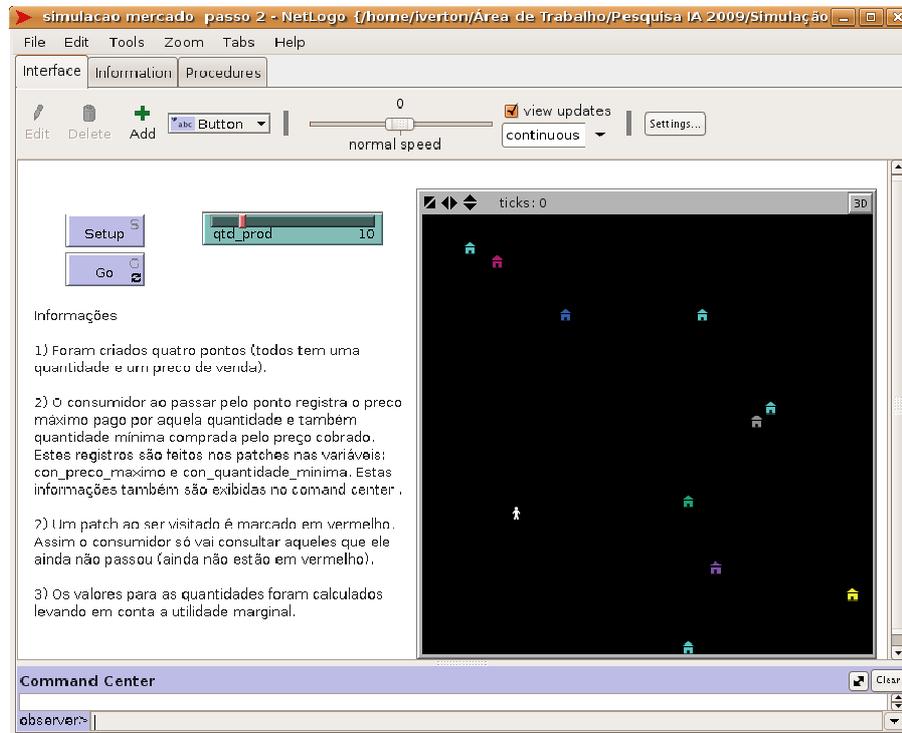


Figura 2 – Simulação etapa 2.

Esta é a tela do ambiente NetLogo. E nesta simulação os pequenos objetos em formato de casa são *turtles* e representam produtores, os quais oferecem uma quantidade de um produto a um determinado preço. O pequeno “homenzinho” de cor branca é uma *turtle* que representa um consumidor. Está simulação transcorre de forma que o consumidor visita os diversos produtores e com base em sua função demanda, informa os diversos preços que estaria disposto a pagar para as quantidades determinadas por cada produtor.

## 5. Considerações Finais

O principal objetivo das simulações é ajudar a analisar situações e assim apoiar no entendimento de um processo. Como muitas vezes não é possível trabalhar diretamente com eventos reais, pode-se dizer que simulá-los é uma ótima alternativa.

Com este trabalho pretende-se utilizar-se das facilidades oferecidas pelos recursos de simulação e, através da desenvolvimento de um modelo, possibilitar a simulação de situações de mercado hipotéticas fornecendo assim estatísticas e previsões básicas para estudo de alternativas de comportamento dos agentes econômicos. Um exemplo de resultado seria a possibilidade o entendimento de questões como: Que fatores e quais valores destes, influenciam as atitudes dos agentes consumidor ou produtor e fazem com que haja um fluxo maior ou menor de suas ações no mercado.

## 6. Referências

- Russel S.; Norvig P. (2003) Artificial Intelligence: A modern approach, 2nd edition, Pearson Education.
- Gilbert, N. and Troitzsch, K. G. (2005) Simulation for the Social Scientist. Open University Press.
- Parunak, H. v. D. and Savit. R. and Riolo, R. L. Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling: A Case Study and Users' Guide. In: Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation First International Workshop, MABS'98, Paris, France, July 4-6, 1998. Proceedings. Springer, Berlin, 1998.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Pindyck, Rober S. e Rubenfield, Daniel L. (1999) Microeconomia – 4 ed. São Paulo: MAKRON Books.
- Salvatore, Dominick. (1984) Microeconomia; tradução e revisão de Marco Antonio Sandoval de Vasconcellos. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.
- Cunha, Fleury Cardoso da. (2004) Microeconomia: teoria, questões e exercícios. Campinas, SP: Editora Alínea.