

Simulação do Espalhamento da Influenza na Cidade de Cascavel-PR Utilizando Agentes Computacionais

Marcos Paulo Nicoletti¹, Claudia Brandelero Rizzi¹,
Rogério Luis Rizzi¹

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Caixa Postal 711 - 85819-110 - Cascavel - PR - Brasil

marcos.nicoletti@unioeste.br, claudia.rizzi@unioeste.br,
rogerio.rizzi@unioeste.br

Abstract. *This paper presents and discusses results of the computational experiment in which the spread of influenza was modeled as compartmental models of SIRS type, using the approach of model-based agents. It was simulated the process of spreading the influenza in a specific region of Cascavel-PR, covering part of three districts are geographically close. In this environment, interacted simplified 4653 agents distributed in six distinct types, agents infants, children, teens, adults and seniors. Each agent type has different behaviors according to displacement in the environment for study, work, play or stay home. Disease transmission occurs when the interaction in the same place, among susceptible individuals and infected. The analysis of the tests was made from data obtained in technical literature and has already started work to better characterize and map the city and to validate the model and the results using real data collected by the Secretaria Municipal de Saúde.*

Resumo. *Este trabalho apresenta e discute resultados decorrentes de um experimento computacional em que o espalhamento da Influenza foi modelado a partir da concepção de modelos compartimentais tipo SIRS, empregando a abordagem de agentes baseados em modelos. Simulou-se o processo de espalhamento da gripe em uma região específica da cidade de Cascavel-PR, abrangendo parte de três bairros. Neste ambiente, interagiram simplificadaamente 4.653 agentes distribuídos em 6 tipos distintos, os agentes bebês, crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos. Cada tipo de agente apresenta comportamentos específicos quanto ao deslocamento no ambiente, para fins de estudo, trabalho, lazer ou a estada residencial. A transmissão da doença ocorre quando da interação entre indivíduos suscetíveis e infectados. Análises foram realizadas a partir de resultados obtidos e já foram iniciados trabalhos visando mapear e caracterizar melhor o município bem como validar o modelo através de dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde.*

1. Introdução

A epidemiologia estuda o processo de saúde e doença em coletividades humanas objetivando analisar a distribuição e os fatores determinantes das enfermidades, danos e eventos associados à saúde visando propor medidas preventivas, de erradicação ou controle, empregando indicadores que dão sustentação ao planejamento, gestão e avaliação de ações

em saúde coletiva [Rouquayrol and Goldbaum 1999]. A epidemiologia se ocupa também em identificar e entender o agente causal e fatores relacionados aos agravos da saúde bem como identificar e explicar os padrões de distribuição geográfica das doenças.

Pesquisas realizadas sobre a transmissão de doenças infectocontagiosas envolvem a compreensão de características complexas incluindo padrões biológicos, ecológicos, geográficos, sociais e epidemiológicos. Alguns aspectos desses estudos podem ser realizados com o emprego da modelagem computacional, de modo a analisar variações e interrelações desses padrões, dentre outras caracterizações, na identificação de cenários que possam subsidiar ações e políticas públicas epidemiológicas.

A especificação de um modelo computacional requer a identificação das principais variáveis envolvidas, bem como a determinação das hipóteses que fundamentam a dinâmica do evento. Nessa especificação devem estar inclusas formulações (físicas, matemáticas, biológicas) apropriadas ao problema que são, então, representadas computacionalmente. Deste processo são obtidas simulações das quais são realizadas análises, predições que são testadas e comparadas com dados experimentais ou com aqueles disponíveis na literatura técnica. Se o resultado é suficientemente bom para os propósitos determinados, a modelagem é aceita. Caso contrário, ela é modificada e o ciclo se repete.

Uma metodologia empregada para representar a propagação de doenças é utilizar modelos compartimentais. Este tipo de abordagem baseia-se na divisão da população de hospedeiros em categorias, entre as quais os indivíduos fluem com taxas que dependem das características próprias da doença e das formas de transmissão, entre outros fatores. A população hospedeira é subdividida em classes, como a dos indivíduos suscetíveis (S), latentes (E), infectados (I) e removidos (R). Para populações fechadas considera-se que a quantidade indivíduos, N , é tal que $N = S + E + I + R$ [Vynnycky and White 2010].

Um modelo frequentemente empregado para simular a dinâmica do Influenza é o SIRS (Suscetível-Infetado-Recuperado-Suscetível), que é aquele resultante da modelagem de doenças em que os indivíduos infecciosos podem recuperar-se, porém não adquirem imunidade permanente, passando a ser suscetível após certo período. Exemplos de doenças sob essa categorização são as gripes, que adquiridas num período, conferem imunidade apenas parcial, visto que a população de indivíduos é suscetível (parcial ou totalmente) a uma nova cepa do vírus. Um fluxograma do modelo SIRS com taxas vitais iguais considera as taxas μ , β , α e δ , onde μ indica a taxa de mortalidade e de natalidade constantes em todos estados, β é a taxa de contato entre os indivíduos no estado S e no estado I , α é a taxa de recuperação, quando indivíduos no estado I passam ao estado R e δ é a taxa de reinfecção, quando indivíduos passam do estado R para o estado S .

Para observar o comportamento da dinâmica populacional de indivíduos nessas categorias considerando-se aspectos e comportamentos inerentes às suas classes, deve-se tomar uma modelagem baseada em indivíduos, onde cada um dos elementos componentes da população é considerado. Essa abordagem pode ser fundamentada usando agentes computacionais, cujas ações individuais e autônomas que realizam no ambiente que compartilham, de uma perspectiva sistêmica, interferem no contexto global da dinâmica da transmissão e espalhamento da doença. Através dos agentes é possível especificar e validar, no modelo computacional proposto, as diferentes hipóteses relacionadas aos diversos tipos de agentes, seus atributos, regras de comportamento, interações e seus efeitos sobre

os fatos observáveis no nível macro do sistema [Janssen 2012].

Considerando que a dinâmica da população é influenciada pela rede de contato, é relevante em um modelo baseado em indivíduos, a especificação de uma rede que leve em consideração os relacionamentos e contatos locais e globais que ocorrem em um ambiente. Neste caso, deve-se utilizar uma rede do tipo mundo pequeno (*small world*) [Newman 2000], visto que ela pode ser configurada para estabelecer as conexões entre os vizinhos e aqueles indivíduos que não estão próximos a ele geograficamente mas estão do ponto de vista do contato.

O presente trabalho apresenta resultados decorrentes da modelagem computacional do espalhamento da Influenza em uma região específica da cidade de Cascavel, Paraná, Brasil, empregando modelagem compartimental, agentes computacionais baseados em modelos e redes de contato de mundo pequeno. Os experimentos computacionais aqui apresentados foram realizados considerando dados obtidos na literatura ou aproximados visto que os dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Cascavel ainda estão em processo de organização e tratamento.

2. Agentes baseados em modelos

O modelo de agentes desenvolvido para representar a dinâmica da Influenza é aquele baseado em modelo que deve, a partir de seu estado interno, interagir com o ambiente, de modo que a percepção atual é combinada com esse estado interno para gerar uma descrição atualizada do estado atual. Cada agente implementa as operações de atividades por faixa etária, de transição de estados e de conecto-mobilidade.

O operador de faixas etárias realiza operações lógicas buscando avaliar os possíveis estados que um agente pode assumir, tomando-se as distintas possibilidades de realização de atividades em determinadas localidades considerando-se as diferentes faixas etárias do agente, sendo que assume uma única faixa etária ao longo da evolução. O operador de transição de estados realiza os contatos entre agentes, que podem estar em distintos estados, realizando ou não a transição de estado quando as taxas de infecção ou de recuperação forem adequadas. O operador de conecto-mobilidade distribui o agente para os nodos pelas arestas, considerando-se aspectos de conectividade e mobilidade.

A operação de composição entre esses três operadores produz o operador de evolução global do estado no tempo do agente, quando interagindo com o ambiente. Tal operador em geral não é bijetivo, pois é resultado de relações entre distintos atributos e, portanto, geralmente não é reversível. Para realizar uma simulação, é necessário configurar certos parâmetros que estabelecem quais as condições iniciais do ambiente e do modelo interno do agente. Os principais são:

- Dados topológicos: que consistem na identificação de nodos, arestas, conectividade e mobilidade que são informações necessárias à determinação de quaisquer tipos de localidades e para estabelecer a conecto-mobilidade aos agentes para transportá-los às vizinhanças geográficas e lógicas.
- Dados de atividades por faixa etária: que consistem na especificação do comportamento do agente, estruturado por faixa etária, que atua diferentemente de acordo com seu posicionamento em determinadas localidades e período de tempo.
- Dados demográficos: que consistem na população estruturada por faixa etária. A

distribuição considera o tipo de localidade onde os agentes atuarão, respeitando-se os parâmetros da densidade média da população bem como o período de tempo.

- Dados epidemiológicos: que consistem na especificação das taxas de contato efetivo, de recuperação e de perda de imunidade, definindo a ocorrência ou não da transição entre os estados suscetível, infectante e removido.
- População inicial: que consiste na informação inicial das quantidade ou proporções de agentes nos estados suscetível, infectante e removido.

Considerando que um determinado agente encontra-se numa faixa etária numa posição geográfica em um subpasso de tempo, o operador de evolução global realiza as transições para cada passo discreto de tempo. Um cenário na simulação é o estado final de uma evolução.

3. Parâmetros geográficos e dinâmicos

Cascavel é uma cidade situada no oeste do estado do Paraná. Possui 2.091 km² de área territorial e dista 490 km da capital. Seus 286.205 habitantes residem em 100.931 domicílios. Entre creches, escolas de ensino pré-escolar, fundamental e médio, existem 194 estabelecimentos oficialmente registrados. São 8 as instituições de ensino superior. A população economicamente ativa se ocupa de atividades ligadas ao comércio, indústria de transformação, agricultura, pecuária, construção civil e prestação de serviços. São aproximadamente, 115.000 indivíduos que trabalham na zona urbana. Há 9.000 estabelecimentos que realizam atividades econômicas. A densidade demográfica é de 138,35 hab/km², o grau de urbanização é de 94,36% e o índice de desenvolvimento humano (IDH-M) é de 2.000 [Ipardes 2012], [Ibge 2011].

Em 2009, ano em que se iniciou o registro da Influenza como doença com notificação compulsória, Cascavel teve 5.089 casos notificados e 4.081 casos confirmados da doença. Tratou-se de uma pandemia que preocupou a população, exigiu intervenção específica por parte da vigilância epidemiológica do município e motivou o presente trabalho de modelagem e simulação. Embora a doença tenha acometido indivíduos espalhados em todo o município, optou-se por realizar um primeiro experimento envolvendo uma parte geográfica da cidade, o centro dela, onde residem e circulam grande quantidade de pessoas por dia. Esta área, que abrange parte de 3 bairros, é ilustrada pela figura 1, onde se destacam as 60 quadras consideradas no experimento e seu arruamento.

Nessa região foram mapeados 1095 pontos, sendo 817 considerados residências e 277 locais de interesse envolvendo estabelecimentos de estudo, trabalho e lazer. A figura 2 quantifica e qualifica os tipos dos 277 locais de interesse situados geograficamente na região ilustrada na figura 1, e define a quantidade máxima de agentes que podem ali estar no mesmo período de tempo (a capacidade). Em cada uma das 817 residências, no máximo 6 agentes podem ali permanecer ao mesmo tempo. A quantidade de residências é determinada pela diferença entre os pontos de interesse e o total de nodos.

Para a caracterização dos agentes envolvidos na simulação especificou-se 6 tipos distintos: agentes bebês, crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos. Considerando que o quantidade total de habitantes dos três bairros envolvidos na simulação, segundo a sinopse decorrente do censo 2010 fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), era de 46.533 habitantes [Ibge 2011], optou-se por quantificar, para cada tipo distinto de agente, o percentual de 1/10 do total de indivíduos categorizados

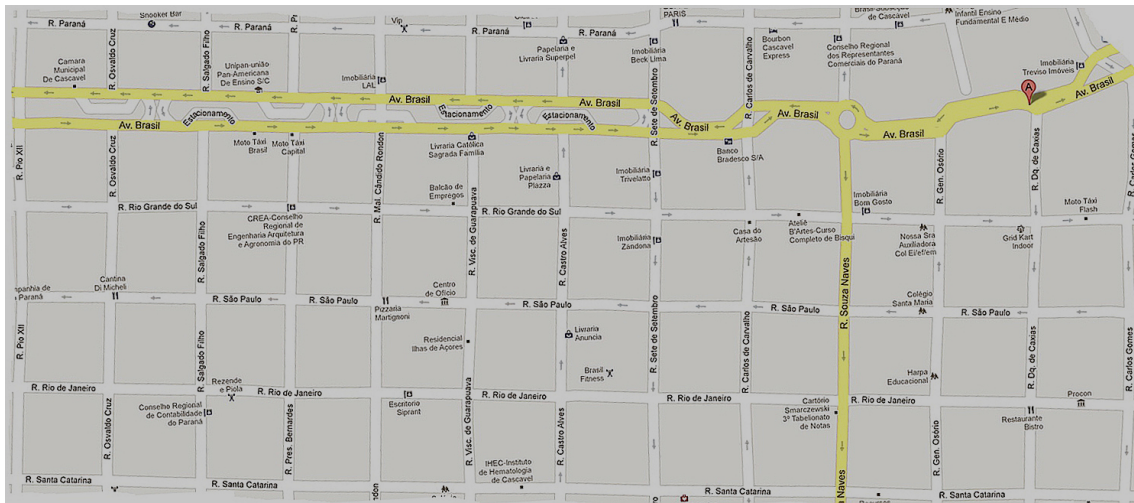


Figura 1. Recorte geográfico de Cascavel selecionado para a simulação.

Locais de Estudo			Locais de Trabalho			Locais de Lazer		
Qtd	Tipo	Cap.	Qtd	Tipo	Cap.	Qtd	Tipo	Cap.
1	Universidades	800	6	Instituições públicas	10	3	restaurantes	30
2	Colégios	350	5	Imobiliárias	5	1	Academia	28
2	Creches	40	4	Livrarias	8	2	Igrejas	60
			7	Escritórios	12	2	Praças	40
			1	Laboratório	78	4	Bares	20
			3	Bancos	40			
			2	Hotéis	8			
			3	Farmácias	6			
			69	Comércio médio	20			
			160	Comércio pequeno	6			

Figura 2. Os 277 locais de interesse mapeados: estudo, trabalho e lazer.

entre os 6 tipos possíveis. Assim, para a simulação apresentada neste trabalho, foram utilizados 4.653 agentes distribuídos entre os 6 tipos distintos.

Agentes reativos baseados em modelos empregados neste trabalho mantêm um estado interno para aspectos não percebidos no ambiente a partir do período do dia (manhã, tarde, noite ou madrugada), de suas necessidades de movimentação decorrentes de sua faixa etária (residência, estudo, trabalho e lazer) e de sua condição de saúde (suscetível, infectado, removido). A decisão para a movimentação do agente leva em conta o período do dia (manhã, tarde, noite, madrugada) e se o local para o qual foi previamente escolhido comporta sua estada, ou seja, se não atingiu a quantidade máxima de agentes que comporta. A figura 3 mostra o relacionamento entre faixa etária × período × locais de permanência, de cada tipo de agente em cada período do dia.

Visando estimar a expectativa da quantidade aproximada de agentes a se deslocarem por período de tempo, foram feitas as seguintes considerações, das quais decorrem os valores apresentados na figura 3.

- A taxa de frequência às creches municipais do Município de Cascavel em 2011 é

Agente (tipo)	Idade (anos)	Manhã	Tarde	Noite	Madrugada
Bebês Total = 268	Menores de 6	Residência: 188 ou Creche: 80	Residência: 188 ou Creche: 80	Residência: 268	Residência: 268
Crianças Total = 477	De 6 até menores que 14	Residência: 24 ou Estudo: 453	Estudo: 453 ou Lazer: 24	Residência: 477	Residência: 477
Adolescentes Total = 222	De 14 até menores de 18	Estudo: 211 ou Residência: 11	Estudo: 211 ou Lazer: 11	Residência: 222	Residência: 222
Jovens Total = 1129	De 18 até menores de 30	Estudo: 226 ou Trabalho: 903	Estudo: 226 ou Trabalho: 903	Estudo: 226 ou Residência: 903	Residência: 1073 ou Lazer: 56
Adultos Total = 1990	De 30 até menores de 60	Trabalho: 1871 ou Residência: 119	Trabalho: 1871 ou Residência: 119	Residência: 1592 ou Lazer: 398	Residência: 1891 ou Lazer: 99
Idosos Total = 567	Maiores de 60	Residência: 567	Residência: 482 ou Lazer: 85	Residência: 567	Residência: 567

Figura 3. Relacionamentos faixa etária × período × locais de permanência.

de 30% das crianças menores de 6 anos, calculadas a partir dos dados do Censo de 2010. Neste caso, no máximo 80 agentes bebês poderiam estar nas creches nos períodos da manhã e tarde.

- Pelas informações obtidas na documentação ENAD 2010, 95% das crianças e adolescentes na faixa etária correta frequentam às escolas. Assim, 453 agentes crianças e 211 agentes adolescentes devem estar presentes nas Instituições de Ensino, nos períodos adequados. Para as atividades de Lazer, no período da tarde, foram considerados 5% do total de cada um dos tipos destes agentes.
- Segundo o IBGE [Ibge 2010], no Paraná, 19,9% dos jovens estudam nos períodos da manhã, tarde ou noite. Isso fornece 226 agentes nesta faixa etária. Além disso, considerou-se que 80% dos agentes jovens trabalham nestes períodos. No período de madrugada, para as atividades de lazer, apenas 5% deles estão em tal atividade.
- Pelas informações divulgadas [MDIC 2012], 6% dos adultos em 2011 estavam desempregados. Tomando essa proporcionalidade, considerou-se que 1871 agentes adultos trabalham no período da manhã ou tarde. À noite considerou-se que 80% deles estão estudando e 20% estão em atividades de lazer. Na madrugada, 95% estão em suas residências e 5% em atividades de lazer.
- Quanto aos agentes idosos, considerou-se que na parte da tarde, 5% estão em atividades de lazer.

4. Ambiente computacional

A implementação computacional do ambiente de simulação utilizado neste trabalho foi desenvolvida na linguagem Java e utiliza o framework Java Agent Development Framework (JADE) [Bellifemine et al. 2012] para a manipulação de agentes. A biblioteca JFreeChart [Gilbert 2007] foi utilizada para geração de gráficos.

A simulação desenvolvida emprega modelos compartimentais para a modelagem da dinâmica da Influenza, agentes reativos baseados em modelos para a modelagem dos agentes computacionais e redes de mundo pequeno (*small world*) para representar redes de contato entre indivíduos. A dinâmica espaço-temporal das interações entre os

indivíduos ocorre em locais residenciais, de estudo, trabalho e lazer e são estruturadas por faixas etárias compreendendo bebês, crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos, por estado do tempo em um dia, podendo estar no período da manhã, tarde, noite e madrugada (sumarizado na figura 3) e por estado, suscetível, infectado ou removido.

Para a modelagem computacional foram definidas três classes de agentes: o agente Timer, os agentes Compartimentais e os agentes Humanos, sendo que apenas esses últimos são modelados como sendo do tipo reativos baseados em modelos. Há um único agente Timer, três agentes Compartimentais e 4.653 agentes Humanos. Tanto o agente Timer quanto os três agentes Compartimentais atuam em uma estrutura de contêiner. O agente Timer faz contagem dos dias. Ele também contém informação temporal que permite que todos os agentes Humanos saibam sobre a mudança dos períodos de tempo no ambiente (manhã, tarde, noite e madrugada).

Os agentes Compartimentais, mais especificamente o Agente Compartimental Suscetível, o Agente Compartimental Infectado e o Agente Compartimental Removido efetuam a contagem da quantidade de agentes Humanos que estão em cada um dos três compartimentos. Também são responsáveis por informar ao agente Timer quando cada um dos agentes Humanos concluiu as atividades de seu dia.

Os 4.653 agentes Humanos assumem três estados em um dado momento. Um estado indica sua faixa etária: bebê, criança, adolescente, jovem, adulto e idoso. Outro estado indica seu local de atuação, ou seja, em sua residência ou em atividades de trabalho, estudo ou lazer. O terceiro estado indica o estado compartimental em que se encontra: suscetível, infectado ou removido. Cada um dos agentes mantém informações sobre esses três estados internos que modelam o mundo da simulação e que contribuem para a tomada de decisão a partir de suas percepções sobre o ambiente e sobre eles mesmos.

Assim, os agentes Humanos, cientes de sua condição em termos de faixa etária (bebê, criança, adolescente, jovem, adulto e idoso), compromissos (em casa, no trabalho, estudando ou se divertindo) assumidos durante os quatro estados possíveis de um dia (manhã, tarde, noite ou madrugada) e condição de saúde (suscetível, infectado ou removido), se deslocam para um dos possíveis locais onde podem ou devem estar. Um caso típico é aquele em que um agente jovem saudável, pela manhã ou tarde está estudando ou trabalhando. De noite está estudando ou em sua residência. De madrugada, está em sua residência ou em atividades de lazer (figura 3). Embora essa seja sua rotina, ela pode ser modificada na dinâmica do dia e esse agente por ir/estar em outro local como, por exemplo, ter se deslocado para uma creche. Como sua presença ali é eventual, sua contribuição para o espalhamento da Influenza é nula. Se esse agente estiver em seu local de estudo ou trabalho ou lazer, sua contribuição para o espalhamento da Influenza é máxima.

A topologia do ambiente é definida por uma estrutura contendo 60 clusters. Cada cluster representa uma das 60 quadras componentes de partes de três bairros do município de Cascavel, que foram tomadas para comporem o ambiente da simulação e são ilustradas na figura 1. Cada cluster é formado por uma estrutura contendo um grafo não direcionado constituído por n nodos, sendo que essa quantidade varia em cada nodo já que representa a quantidade de locais ali existentes e sua densidade demográfica, tomando como parâmetros as informações das unidades censitárias do IBGE, do censo de 2010.

Nessa estrutura estão representados os 277 locais de estudo, trabalho e lazer e

817 locais residenciais. Cabe destacar que os nodos que representam os locais de estudo, trabalho e lazer foram posicionados nos clusters que representam as quadras em que estão situados fisicamente em Cascavel.

Os agentes se movimentam pelos nodos apenas através das arestas que os ligam. Se as arestas ligam os diversos nodos que compõem o cluster elas são denominadas internas. As arestas que fazem as ligações entre clusters são denominadas externas. A estrutura de conexões (clusters e nodos) pode ser modificada permitindo a inclusão de rede de mundo pequeno (*small world*) através da inserção de arestas na lista de conectividade. As arestas podem estar geograficamente distantes, mas estarão logicamente conectadas, como pertencendo à estrutura de vizinhança local. Quando utilizada, a rede de mundo pequeno pode ser do tipo interna, quando arestas são inseridas internamente em um cluster, ou externa, quando arestas são inseridas de maneira que ligam clusters diferentes.

Para isso, seleciona-se no ambiente de simulação, um valor de até 5% [Newman 2000] que informa o percentual de arestas que serão incluídas na estrutura original. Este é o caso em que, por exemplo, um agente infectado que reside no lado leste da região mapeada, tem contato direto com outro agente, que mora na região oeste e está suscetível, visto que atua naquela região.

Ainda sobre a movimentação dos agentes, se não há ligação entre um nodo e outro, o agente não pode movimentar-se entre eles. Também não pode movimentar-se para um nodo quando o mesmo estiver com sua capacidade esgotada. A capacidade do nodo é determinada no início da simulação quando é definida a quantidade máxima de agentes que cada nodo comporta. Quando a capacidade do nodo se esgota, os agentes não podem ali entrar e selecionam outro nodo para visitar. Caso não encontrem na sua adjacência um nodo com capacidade disponível, se manterão no local onde estavam.

4.1. O simulador

A figura 4 ilustra o ambiente de simulação. Sua interface se divide em duas partes: a Tela principal e a Barra de ajustes de parâmetros.

Na Tela principal é apresentado o mapa do local representado com seu respectivo grafo. Os vértices são representados com cores diferenciadas para cada estado do local. A escolha pela representação ocorre da seguinte maneira. Se no local existem agentes infectados o vértice será vermelho. Se não existem agentes infectados e a quantidade de agentes suscetíveis é maior que o quantidade de agentes recuperados, o vértice será azul. Se não existem agentes infectados e o quantidade de agentes recuperados é maior que o quantidade de agentes suscetíveis, então o vértice será verde. Se não existir nenhum agente no vértice ele será preto. Na Barra de ajustes de parâmetros há os seguintes conjuntos de parâmetros: Tamanho da população, Parâmetros do patógeno, dias da simulação, Grau de conectividade da rede de mundo pequeno, Evolução dos dias, e o botão de Confirmação de parâmetros.

Na seção Tamanho da população é definida a quantidade total de agentes em cada uma das faixas etárias consideradas: bebês, crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos, com a respectiva quantidade total de agentes infectados para cada uma dessas faixas no início da simulação. Na seção Parâmetros do patógeno, neste caso a Influenza, são definidos três parâmetros: a taxa de transmissão do vírus; a taxa de recuperação do agente, que depende da característica da doença, e que é calculada em termos de dias de simulação;



Figura 4. Tela principal do ambiente de simulação.

a taxa da perda de imunidade, que também depende das características da doença, e que também é calculada em termos de ciclos de tempo da simulação. Esses parâmetros foram selecionados para este experimento tendo orientação fornecida pela Vigilância Epidemiológica do município de Cascavel. Na seção Número de dias da simulação é definida a quantidade de dias que a simulação deverá considerar. Na seção Grau de conectividade da rede de mundo pequeno, é definida a porcentagem de nós que terão arestas incluídas. Para este experimento tomou-se 3% com inclusão de arestas internas e externas. Na sessão Evolução dos dias é apresentada, sequencialmente, a quantidade de dias da simulação. O botão de Confirmação de parâmetros confirma todos os parâmetros informados.

5. Resultados e discussões

No modelo de simulação utilizado não há nascimentos nem mortes, isto é, a população é constante, sendo conservativo o modelo. A simulação ocorre da seguinte maneira. É definido o grafo não direcionado sobre o qual será realizada a simulação e que representa os clusters e seus nós. Os agentes são iniciados. É feita a distribuição da população estruturada por faixa etária. A distribuição inicia alocando cada agente em uma residência. Cada agente sabe sua faixa etária e em decorrência dela, onde é seu local de residência, seu local de trabalho, estudo e de lazer. No início do primeiro dia, os agentes aguardam pela informação de que o período da manhã já se iniciou. A partir deste ponto e até o final da simulação, a execução ocorre ciclicamente, da seguinte maneira:

- O agente sorteia um vértice para visitar. Caso o vértice já esteja com sua capacidade esgotada, procurará outro vértice. Caso não encontre em sua adjacência, nenhum vértice que possa visitar ficará no local onde estava.
- O agente atualiza seu estado compartimental de acordo com a regra de transição do modelo SIRS, procedendo da seguinte maneira. Depois que ele se desloca ou não para outro ponto do grafo, levando em conta seu estado atual (susceptível,

infectado ou removido) é feita a atualização para seu novo estado. Por exemplo, se o agente está em uma posição válida (a exemplo de um agente jovem em um local de trabalho no período da manhã) e se está no estado suscetível, é feita uma operação considerando o fator de probabilidade de transmissão informado no início da simulação (por exemplo 0,98). Se o resultado desta operação for um valor maior que o fator de transmissão, é modificado o estado do agente, de suscetível para infectado.

- Após atualizar seu estado compartimental, o agente aguarda pela informação de que houve mudança no período de tempo no ambiente (por exemplo, de manhã para tarde) para deslocar-se novamente.
- Ao final do dia, com a passagem dos quatro períodos, o agente informa ao agente Compartimental o seu estado. O agente Compartimental incrementa seu contador da quantidade de agentes que estão no estado que representa e informa ao agente Timer que um agente terminou sua execução do dia.

Foram realizados vários experimentos com diversas variações de parâmetros utilizando o ambiente de simulação implementado. Dois são apresentados a seguir e objetivam mostrar que o modelo proposto submetido ao recorte geoespacial da cidade de Cascavel, apresenta desempenho interessante do ponto de vista da compreensão dos diversos elementos necessários à realização de simulações do espalhamento da doença e das adequações que precisam ser implementadas visando retratar um cenário mais fidedigno. A figura 5 apresenta os parâmetros utilizados em ambos os experimentos.

Parâmetros	Teste I	Teste II
Bebês infectados	0	0
Crianças infectadas	0	0
Adolescentes infectados	10	0
Jovens infectados	5	10
Adultos infectados	5	5
Idosos infectados	0	0
Taxa de infecção	0,4	0,2
Taxa de recuperação	0,02	0,02
Taxa de perda de imunidade	0,25	0,25

Figura 5. Parâmetros utilizados nos testes I e II apresentados.

A figura 6 mostra o gráfico do espalhamento da Influenza entre a população de 4653 agentes no período de 365 dias, com os parâmetros apresentados na figura 5, Teste I. Nota-se que tendo início com 20 indivíduos infectados entre adolescentes, jovens e adultos e uma taxa de infecção de 0,4, nos primeiros 30 dias, a doença já havia atingido uma população de 3.000 agentes. Em 60 dias, o quantidade de infectados havia caído para próximo de zero, visto que a infecção não foi sustentada pelas condições intrínseca aos dados topológicos e dinâmicos empregados. Passados 250 dias da primeira infecção, a população de indivíduos já estava suscetível a uma nova infecção. Pode-se inferir que, supondo-se que a infecção ocorreu no inverno no primeiro ano, no inverno do ano seguinte uma nova infecção poderia ser esperada.

A figura 7 mostra o gráfico do espalhamento da Influenza entre a população de 4653 agentes no período de 365 dias, com os parâmetros apresentados na figura 5, Teste

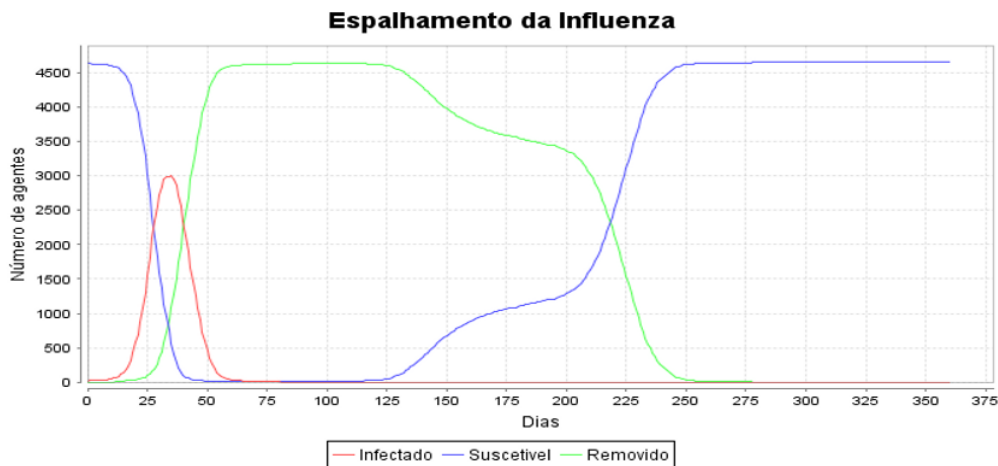


Figura 6. Espalhamento da Influenza entre a população: Teste I.

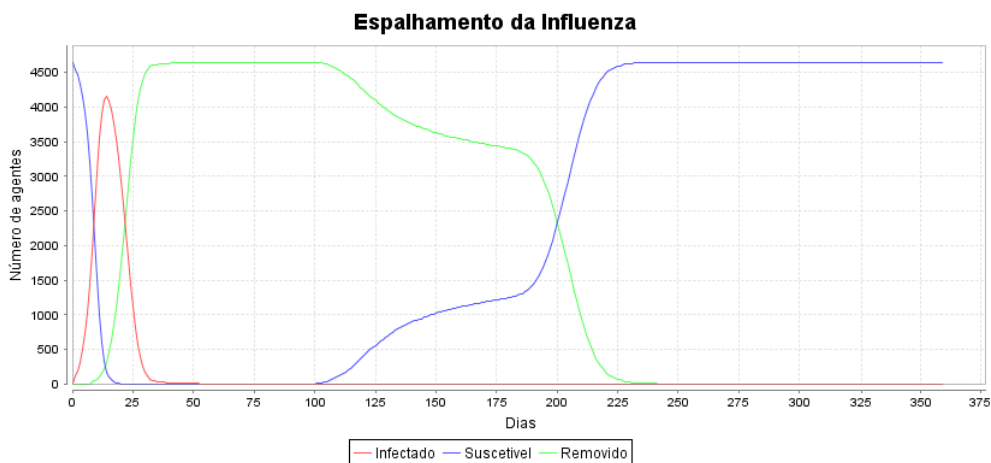


Figura 7. Espalhamento da Influenza entre a população: Teste II.

II. A figura 7 mostra que, tendo início com 15 indivíduos infectados entre adolescentes e adultos e uma taxa de infecção de 0,2, metade da força de infecção do teste I, nos primeiros 15 dias, a Influenza já havia atingido quase que a totalidade da população de agentes. Pode-se inferir que a conectividade dos agentes, tal como o que se observa na realidade, tem uma influência importante no espalhamento da doença. Assim as relações de contato influenciam de modo importante a propagação de uma doença de contato direto, como a simulada.

6. Considerações finais

Neste trabalho foram apresentados resultados obtidos a partir de um experimento computacional em que o espalhamento da Influenza em parte de três bairros da cidade de Cascavel-PR, utilizando parâmetros fictícios, foi modelado utilizando modelos compartimentais tipo SIRS, agentes reativos baseados em modelos e redes de mundo pequeno. Na modelagem, procurou-se contemplar características importantes do ambiente e da doença a fim de obter resultados condizentes com o contexto real e a literatura técnica da área. Os resultados obtidos permitiram não apenas entender melhor a dinâmica a ser modelada

como outros requisitos que precisam ser implementados visando dispor de uma ferramenta de simulação mais eficiente e robusta.

O trabalho apresentado, constitui a primeira aproximação no sentido do desenvolvimento de um projeto maior que prevê uma modelagem mais adequada considerando a ambientação de toda a cidade de Cascavel. Para isso, alguns dos principais aspectos que estão sendo trabalhados tendo como elemento motivador os resultados do experimento apresentado são: a especificação de um ambiente de simulação a partir da manipulação de mapas do tipo *shape*, fornecidos pelo IBGE, decorrentes do censo 2010, que inclui unidades censitárias e separação da população por faixas; a melhoria do desempenho computacional considerando possibilidades de paralelizar o modelo, incluindo melhor exploração do potencial do uso do Jade; a exploração mais adequada da utilização técnica das redes de mundo pequeno; a melhoria de recursos de visualização de resultados e a organização dos dados da Influenza de Cascavel referentes aos anos de 2009/2011 visando a calibração e validação do modelo.

O emprego de agentes baseado em modelos se mostrou apropriado para os propósitos deste projeto e sua utilização para a próxima fase desta pesquisa tem requerido da equipe refinamentos em termos da especificação teórica da modelagem dos agentes. Um trabalho específico sobre este tema está em fase de preparação para publicação.

Referências

- Bellifemine, F. L., Caire, G., and Greenwood, D. (2012). Developing multi-agent system with jade. <http://jade.tilab.com/>.
- Gilbert, D. (2007). The jfreechart class library, developer guide. <http://www.jfree.org/jfreechart/>.
- Ibge (2010). Instituto brasileiro de geografia e estatística. síntese de indicadores sociais, uma análise das condições de vida da população brasileira, 2010. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/>.
- Ibge (2011). Instituto brasileiro de geografia e estatística. sinopse do censo demográfico 2010 paraná. <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>.
- Ipardes (2012). Instituto paranaense de desenvolvimento econ mico e social. caderno estatístico município de cascavel. <http://www.ipardes.gov.br/>.
- Janssen, M. A. (2012). Agent-based modelling. International Society for Ecological Economics. <http://www.ecoeco.org/>.
- MDIC (2012). <http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/noticias/>.
- Newman, M. (2000). Models of the small-world. *Journal of Statistical Physics*, vol.101, pp. 819-841.
- Rouquayrol, M. Z. and Goldbaum, M. (1999). Epidemiologia, hist ria natural e preven o de doenças. In Rouquayrol, M. and Filho, A., editors, *Epidemiologia e Saúde*. MEDSI, Rio de Janeiro.
- Vynnycky, E. and White, R. G. (2010). *An Introduction to Infectious Disease Modelling*. Oxford University Press.