

# Redes Complexas de Base Territorializada: definição, caracterização topológica e perspectivas de aplicações na modelagem dinâmica em epidemiologia espacial

Leonardo Bacelar Lima Santos (CAP/INPE) - *Orientando*  
Antônio Miguel Vieira Monteiro (DPI/INPE) - *Orientador*

12 de setembro de 2012

# Epidemiologia Computacional

- A computação aplicada aparece para a epidemiologia como ferramenta para modelagem de mecanismos e simulação de processos.
- Como o espaço (território no qual as dinâmicas epidemiológicas ocorrem) é representado?



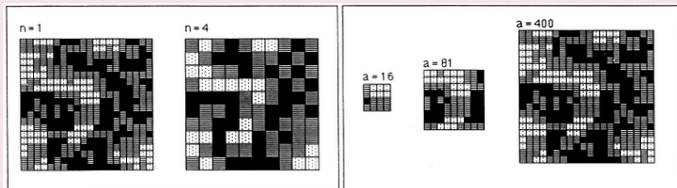
# Mobilidade

- Capacidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano para a realização das atividades cotidianas (*Duarte et al., 2007*).
- No estudo da mobilidade urbana um importante fator a ser considerado é a possibilidade de sua estruturação na forma de diferentes tipos de (complexas) redes.



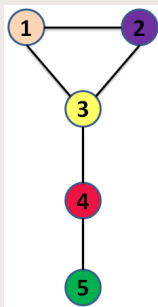
# Escala

- Relação entre o mapa e o mundo real (*Santos e Barcellos, 2006*)
- Dimensão espacial, temporal, quantitativa ou analítica usada para medir e estudar objetos e processos (*Gibson et al., 2000*).



# Grafos

- Um Grafo ( $G$ ) é um conjunto de Vértices ( $V$ ) e Arestas ( $E$ ):  $G(V,E)$ .
- Uma Rede Complexa (RC) é um grafo com alguma “não-trivialidade”.



# Motivação para uma nova abordagem para Redes Complexas

- Como trabalhar, em modelagem epidemiológica espacialmente explícita, com uma abordagem que consiga representar questões de mobilidade e diferentes escalas?
- “A representação do espaço na teoria da RC é topológica, mas não geográfica” (*Kuby et al., 2005*).
- “A localização dos vértices, a proximidade entre eles e o comprimento das arestas são tratados como irrelevantes: a imensa maioria dos trabalhos versam sobre a topologia e não a geografia das redes” (*Hayashi, 2006*).

# RCBT

- Redes Complexas de Base Territorializada (*Geographical Embedded Complex Networks*).
- **Hipótese:** é possível construir formalmente Redes Complexas que façam uso da localização geográfica dos elementos do grafo (RCBT). É possível também construir sua caracterização topológica, e estas estruturas podem contribuir para representar dinâmicas envolvidas em processos epidêmicos, possibilitando seu estudo através de estruturas e dinâmicas observadas sob tais redes.

# A tese e o INPE

## Plano diretor do INPE (2011-2015)

- “Produzir dados, software e metodologias para fortalecer a atuação do INPE nas áreas das aplicações espaciais, **da saúde**, educação, segurança pública e desenvolvimento urbano.”

## Rede PRONEX

- Projeto **DengueME**: ambiente para modelagem da Dengue baseado na plataforma **TerraME - Terra Modeling Environment**.



# Modelos de geração

Três são os modelos mais recorrentes da literatura para construção de RCBT – todos modelos probabilísticos:

- **Spatial Embedded Random Network (SERN)**
- **General Spatial Embeeded COMplex Network (GSECON)**
- **Laticce Embedded Scale-Free Network (LESFN)**

# Plataformas para modelagem epidemiológica com suporte para RC

- **Spatiotemporal Epidemiological Modeller (STEM)** – baseado em componentes, possibilita acompanhamento da dinâmica epidemiológica no tempo e no espaço, JAVA, código aberto, compatível com diversos sistemas operacionais.
- **Epigrass** – suporte para visualização dos resultados e interação com ambientes estatísticos, Python, código aberto e multi-plataforma.
- **GLEaMviz** – variedade de modelos compartimentais híbridos, módulo para edição de modelos via diagramas de blocos/fluxogramas, arquitetura cliente-servidor, com foco em suporte para dinâmicas em escala global.

# Ambientes computacionais

- Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Geográficos (**SGBDG**), com uso de especificações bem difundidas como a OGC SFA-SQL – *Simple Feature Access*, do *Open Geospatial Consortium*;
- Bibliotecas para manipulação de dados geográficos (*TerraLib*);
- Ambientes de análises estatísticas e de redes complexas, como a plataforma *R* e seus pacotes para grafos e redes, como o *igraph*.
- Códigos **C/C++** para RC: *NetAll* e *BOOST*;

# Definição de RCBT

**Redes Complexas de Base Territorializada (RCBT):** aquelas nas quais os vértices têm localização geográfica conhecida e a lei de criação de arestas apresenta dependência funcional frente a variáveis espaciais.

Como fazer uma caracterização topológica de RCBT? Quais são as deformações que demandam os estes novos índices topológicos? Quais os novos valores limites destes índices?

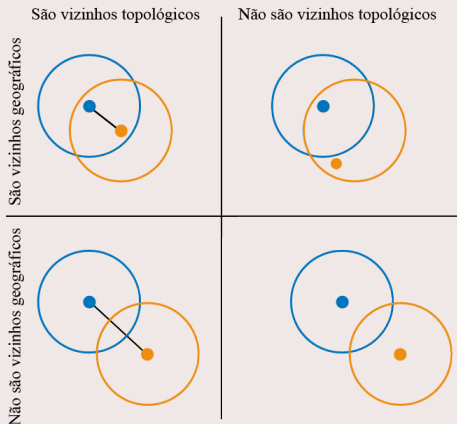
# Associando um componente espacial a índices topológicos

$k_r$ : o  $k_i^r$  mede o número de vértices vizinhos a  $i$  que distam até  $r$  do vértice  $i$ .

$c_r$ : probabilidade dos vértices vizinhos do vértice  $i$  e que distem até  $r$  de  $i$  estarem a uma distância até  $r$  entre eles e sejam vizinhos entre eles; ou seja, se os vértices vizinhos de  $i$  e dentro da sua área de cobertura estão dentro da área de cobertura um do outro e são vizinhos um do outro.

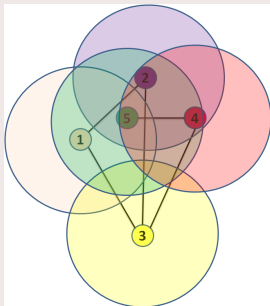
$l_r$ : número médio de arestas que é preciso percorrer para ir do vértice  $i$  a todos os outros, com o denominador para a média sendo o número de vértices “espacialmente conexos”, ou seja, que podem ser alcançados a um número finito de “passos” (arestas).

# Ligações topológicas e geográficas



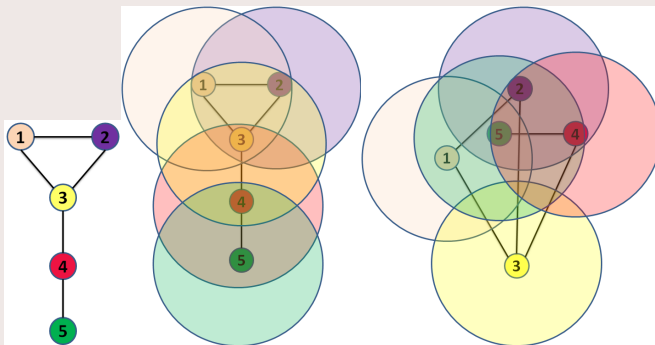
# Caracterização topológica com componente espacial

- grau:  $v_1=0, v_2=0, v_3=0, v_4=1, v_5=1$ ,
- coef. de aglom.:  $v_1=0, v_2=0, v_3=0, v_4=0, v_5=0$
- mcm:  $v_1=0, v_2=0, v_3=0, v_4=1, v_5=1$



# Caracterização topológico com componente espacial

- Caso “do meio” é como um “elemento neutro”;
- O papel da localização dos vértices;
- O papel do raio de cobertura.





# Valores limites

Para  $k_i^r$ :

- Se  $r \rightarrow 0$ , então  $k_i^r = 0 \forall i$ .
- Se  $r \rightarrow \infty$ , então  $k_i^r = k_i \forall i$ .

Para  $c_i^r$ :

- Se  $r \rightarrow 0$ , então  $c_i^r = 0 \forall i$ .
- Se  $r \rightarrow \infty$ , então  $c_i^r = c_i \forall i$ .

Para  $l_i^r$ :

- Se  $r \rightarrow 0$ , então  $l_i^r = 0 \forall i$ .
- Se  $r \rightarrow \infty$ , então  $l_i^r = l_i \forall i$ .

# Cronograma 2012

- **Setembro:** Correções da proposta;
- **Outubro:** Primeiras implementações dos novos índices;
- **Novembro:** Rede de mobilidade urbana – **Worcap** e **DengueME**;
- **Dezembro:** Documentação.

# Estudos de caso e publicações já efetuadas

## Estudos de caso

- Mobilidade urbana da RMRJ;
- Séries temporais georeferenciadas de casos de dengue em Salvador (1995);

## Produção científica já efetuada no doutorado

- Santos e Monteiro (2011). Uso e aplicação de modelagem computacional espacialmente explícita de processos epidêmicos: o exemplo da Dengue;
- Santos et. al. (2011). A Susceptible-Infected Model for Exploring the Effects of Neighborhood Structures on Epidemic Processes - A Segregation Analysis. Proceedings of GeoINFO 2011.

# Cronograma 2013 e 2014

## Provas de conceito

- Análise matemática dos índices para caracterização topológica de RCBT, com estudo de caso para redes aleatórias, livres de escala e de pequeno mundo – a ser submetido ao final do primeiro semestre de 2013;
- Ambiente computacional integrado para caracterização geográfico-topológica de RCBT, com estudo de caso para um dado real – a ser submetido ao final do segundo semestre de 2013;
- Aplicação da caracterização topológica de RCBT ao problema de modelagem computacional de epidemias de Dengue em centros urbanos – a ser submetido ao final do primeiro semestre de 2014.

OBRIGADO!

**Redes Complexas de Base Territorializada:  
definição, caracterização topológica e  
perspectivas de aplicações na modelagem  
dinâmica em epidemiologia espacial**