

Sistemas Complexos

Edmilson Roque dos Santos

edmilson.roque.santos@usp.br



STAR THE FORCE AWAKENS WARS



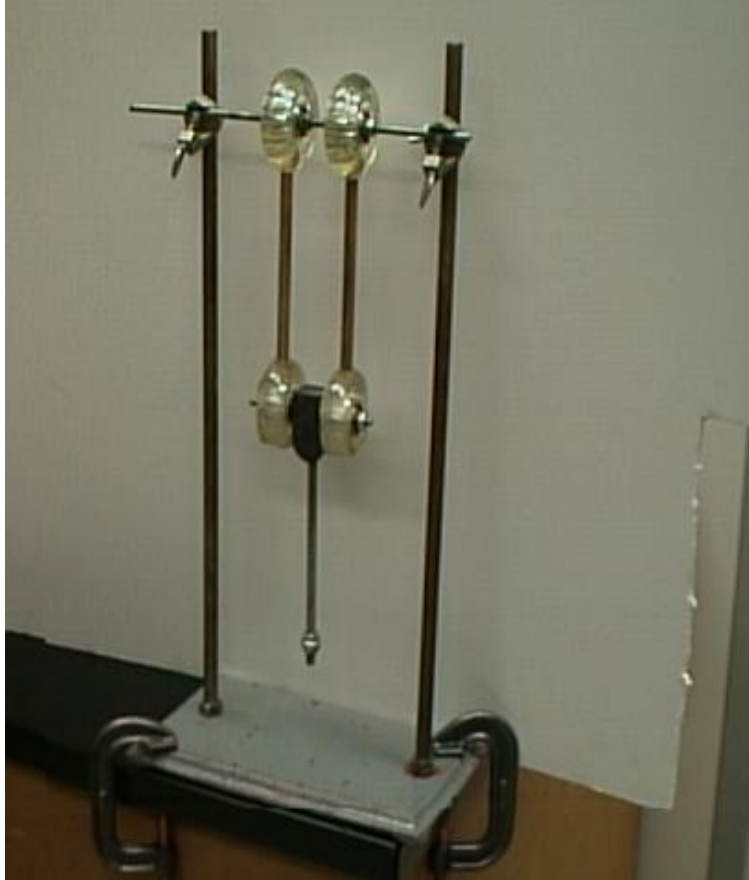
DECEMBER 17
IN REAL D 3D AND IMAX 3D

STAR WARS: THE FORCE AWAKENS. A Lucasfilm Ltd. Production. Directed by J.J. Abrams. Screenplay by Lawrence Kasdan. Story by J.J. Abrams and Michael Arndt. Executive Producers: Kathleen Kennedy, J.J. Abrams, Bryan Burk. Produced by Bob Iger, Kathleen Kennedy, J.J. Abrams, Bryan Burk. Executive Producers: Rick Carter, Darren Gelfond, Dan Janney, Ken Ralston, Anthony Russo, Jon Russo. Produced by Mark Von Sternberg, John Williams. Industrial Light & Magic. Directed by Michael Kaplan. Edited by Mary Jo Markey, Maryann Brandon. Music by John Williams. Costumes by Rick Carter and Darren Gelfond. Casting by Dan Janney. Hair and Makeup by Anthony Russo and Jon Russo. Visual Effects by Industrial Light & Magic. Executive Producers: Lawrence Kasdan, J.J. Abrams, and Michael Arndt. Screenplay by Lawrence Kasdan. Story by J.J. Abrams and Michael Arndt. Directed by J.J. Abrams. Lucasfilm Ltd. © 2015





O que não é um sistema complexo ?



3×10^6 componentes

L.A.N. Amaral; J.M. Ottino, *Complex networks: Augmenting the framework for the study of complex systems*

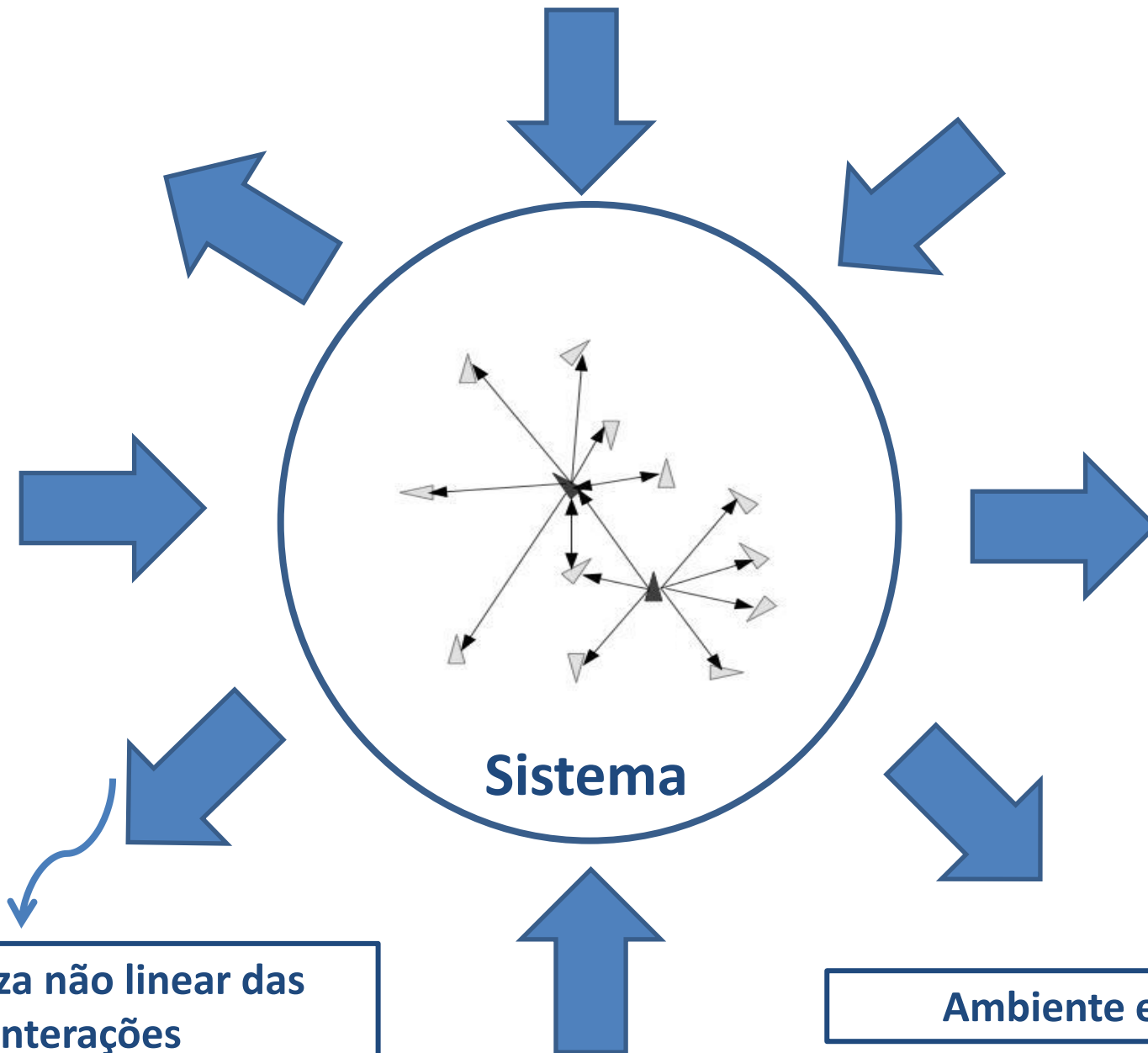
O que é um sistema complexo ?

Definição: *um sistema com um grande número de agentes interagentes que exhibe comportamentos emergentes não triviais e auto organizados.*

O que é um sistema complexo ?

Definição: *um sistema com um grande número de agentes interagentes que exhibe comportamentos emergentes não triviais e auto organizados.*

...um grande número de agentes interagentes...



...um grande número de agentes interagentes...

System	Element	Interaction	Formation	Activity
Proteins	Amino Acids	Bonds	Protein folding	Enzymatic activity
Nervous system Neural networks	Neurons	Synapses	Learning	Behavior Thought
Physiology	Cells	Chemical messengers Physical support	Developmental biology	Movement Physiological functions
Life	Organisms	Reproduction Competition Predation Communication	Evolution	Survival Reproduction Consumption Excretion
Human economies and societies	Human Beings Technology	Communication Confrontation Cooperation	Social evolution	Same as Life? Exploration?

Table 0.3.1: Complex Systems and Some Attributes

B. Yam, ***Dynamics of Complex Systems***, Westview Press, 2003.

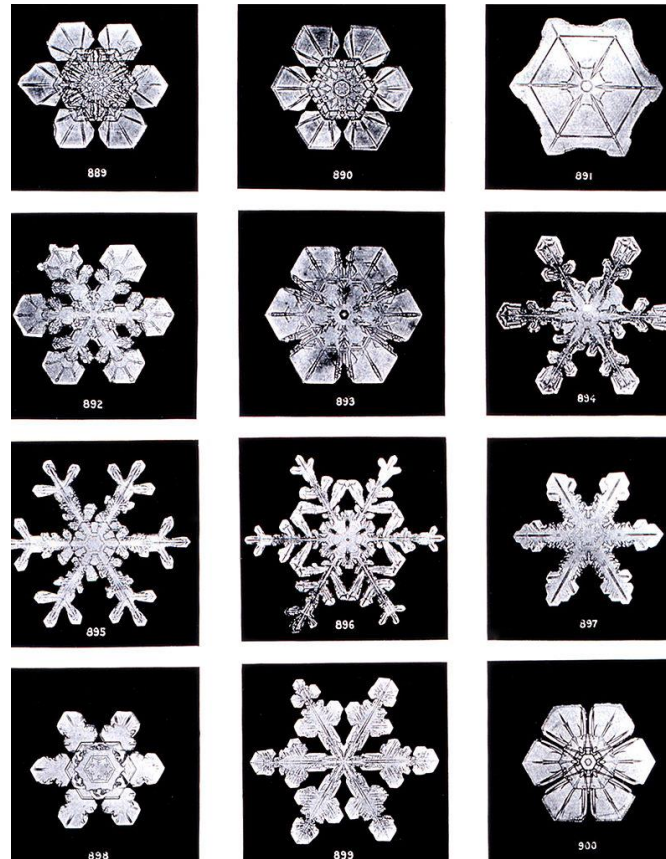
...emergentes...

Definição: *Propriedades emergentes são definidas como efeitos de larga escala de agentes interagindo localmente que geralmente surpreende e é difícil de prever até mesmo no caso de interações simples.*



...emergentes...

Definição: *Propriedades emergentes são definidas como efeitos de larga escala de agentes interagindo localmente que geralmente surpreende e é difícil de prever até mesmo no caso de interações simples.*



...auto organizados

Definição: *Comportamento organizado emergindo sem um líder ou controle interno ou externo.*



M. Michell, *Complexity: A guided tour*, Oxford University Press, 2009.



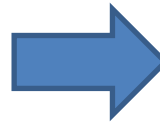
Exemplos

Tráfego de carros e pedestres



Y. Sugiyama et al. **Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam.** 2008 *New J. Phys.* **10** 033001

Tráfego de carros e pedestres



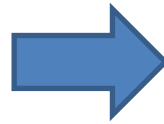
<http://www.traffic-simulation.de/>

Y. Sugiyama et al. **Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam.** 2008 *New J. Phys.* **10** 033001

Tráfego de carros e pedestres



Tráfego de carros e pedestres



https://www.youtube.com/watch?v=e2WfvJXB_8

Colônia de insetos



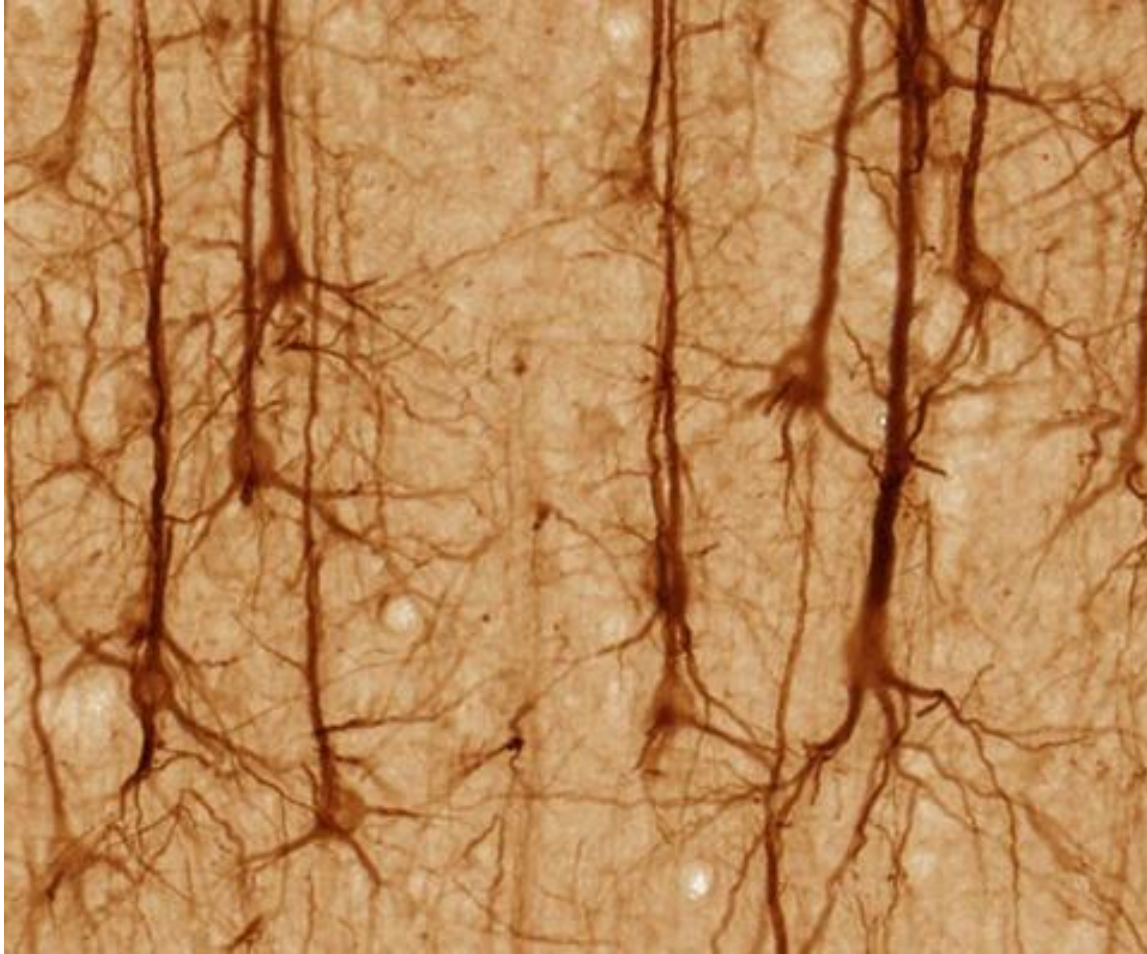
Colônia de insetos



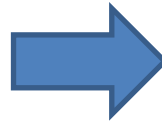
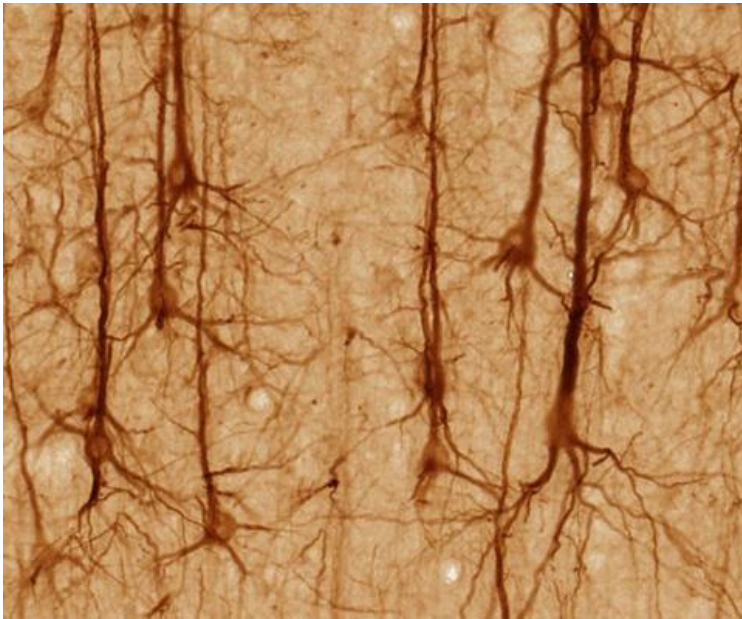
“Colonies of social insects provide some of the richest and most mysterious examples of complex systems in nature...”



O cérebro

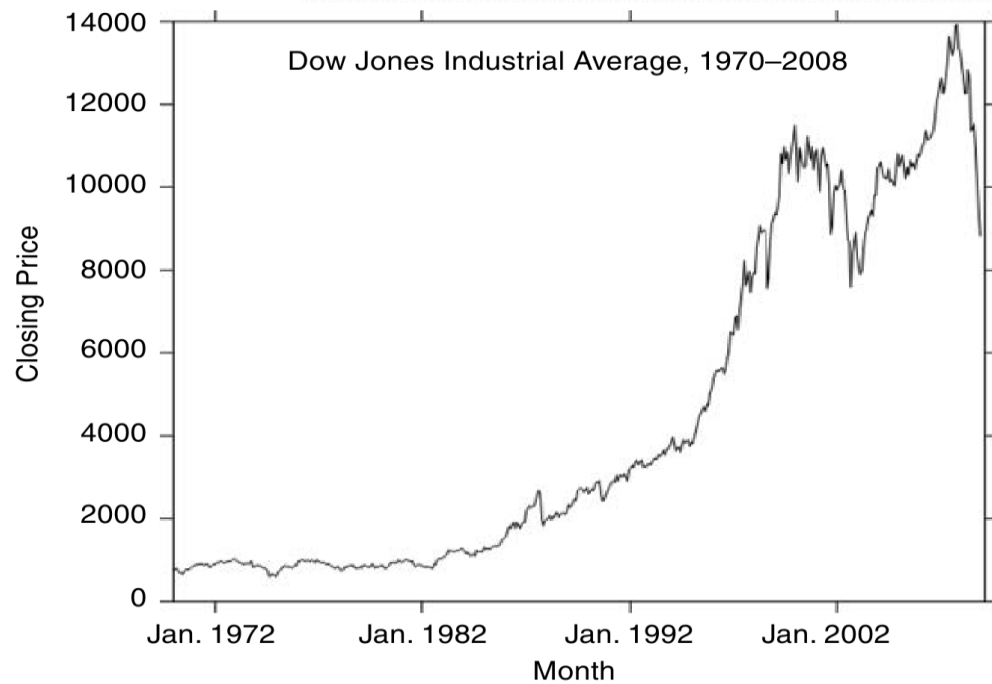
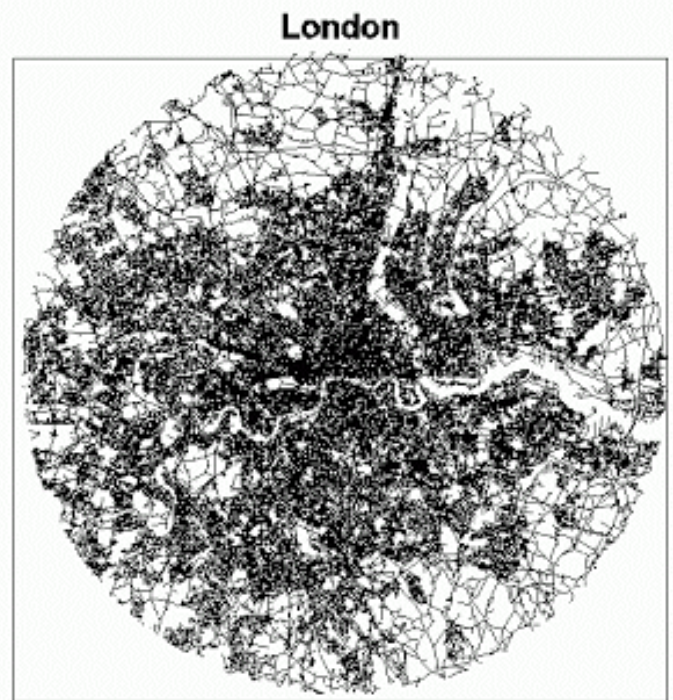
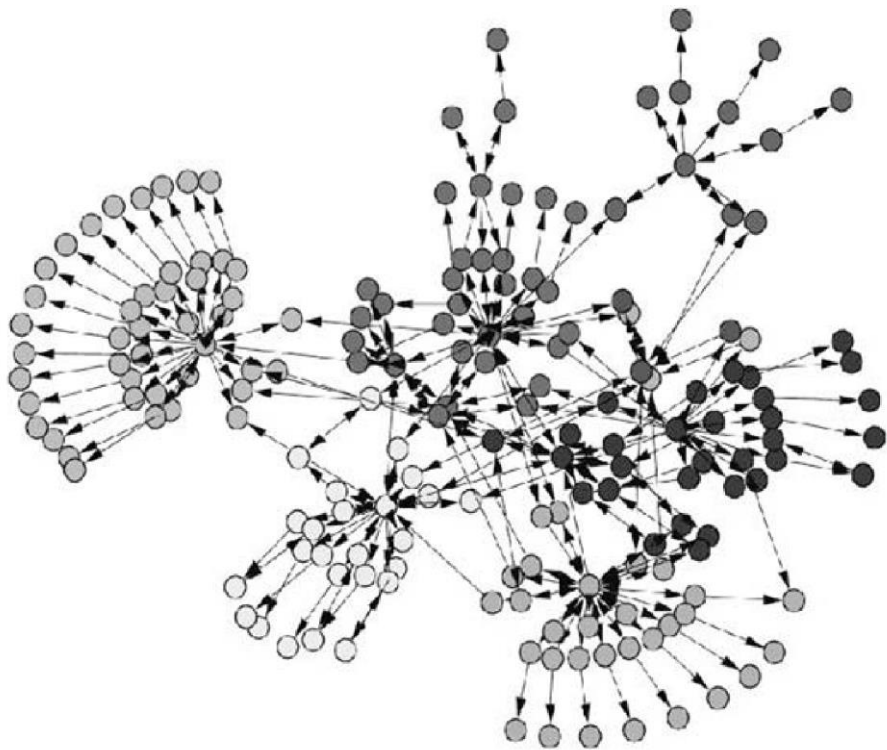


O cérebro



- *Percepção*
- *Pensamento*
- *Sentimento*
- *Consciência*

(...)



***Como entender
os sistemas complexos ?***

estudar



Como ~~entender~~

os sistemas complexos ?



*Teoria de
redes*

*Teoria da
informação*

*Teoria
dos jogos*

**Sistema
complexo**

*Sistemas
dinâmicos
contínuos*

*Fenômenos
críticos e escala*

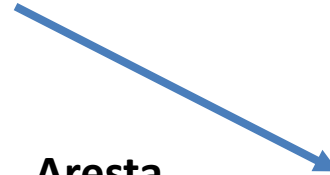
*Sistemas
dinâmicos
discretos*

Teoria de redes

Definição: Um **grafo** G é um par ordenado de conjuntos disjuntos (V, E) , onde V é conjunto composto por elementos chamados **vértices** (nós) e E um subconjunto composto por elementos chamados **arestas**.



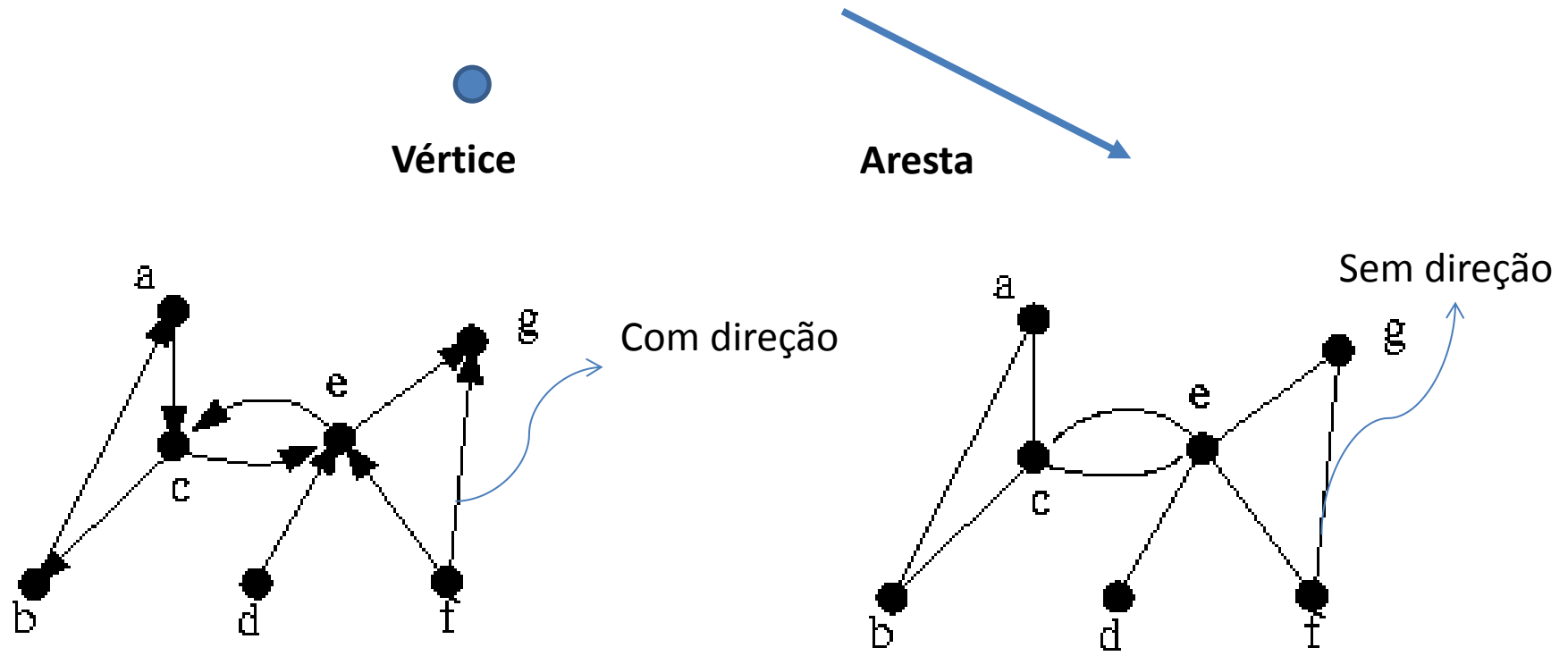
Vértice



Aresta

Teoria de redes

Definição: Um **grafo** G é um par ordenado de conjuntos disjuntos (V, E) , onde V é conjunto composto por elementos chamados **vértices** (nós) e E um subconjunto composto por elementos chamados **arestas**.

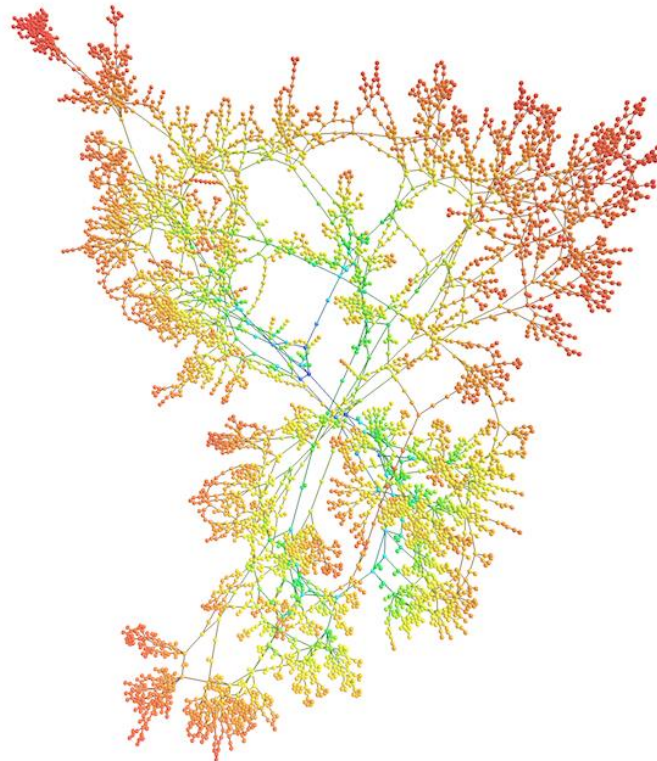


Teoria de redes

Sistemas complexos

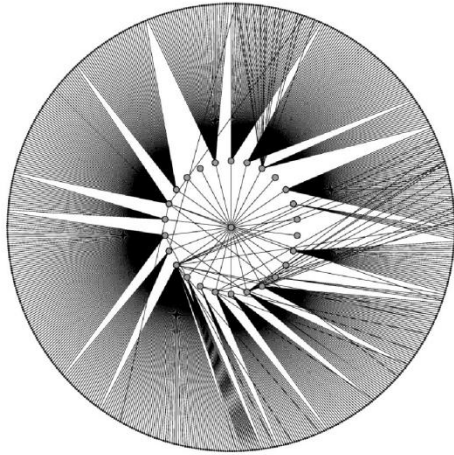
Definição: *um sistema com um grande número de agentes interagentes ...*

Redes Complexas

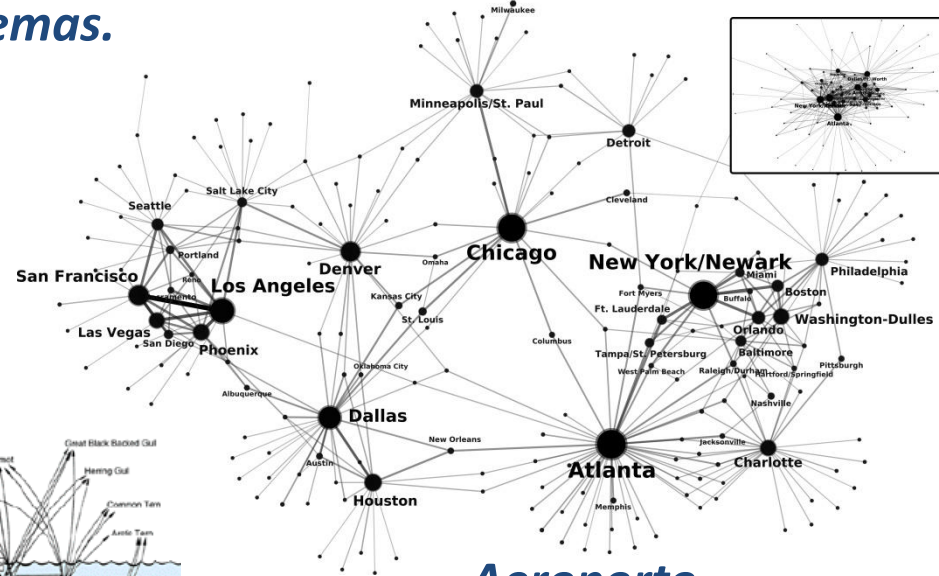


Topologia

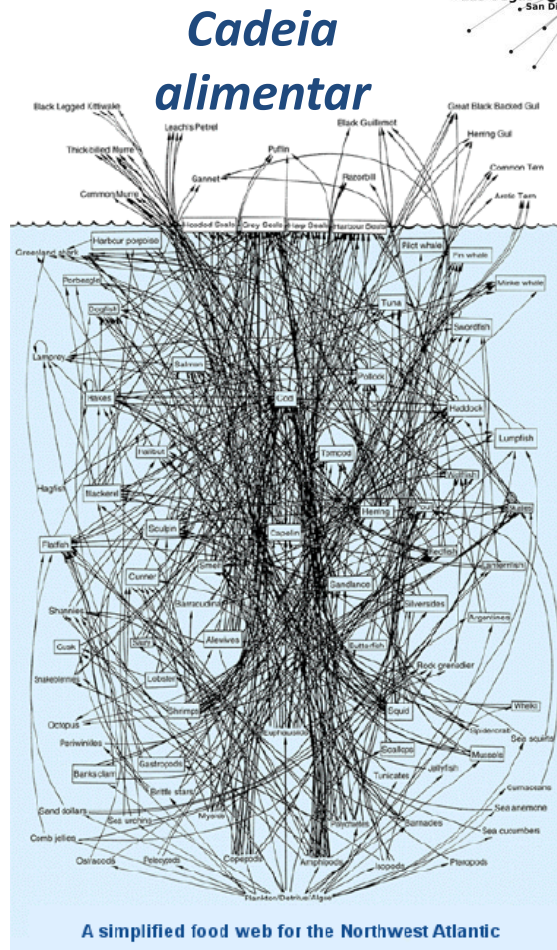
Redes Complexas: embora uma representação é simples, pode modelar diversos sistemas.



Redes de colaboração

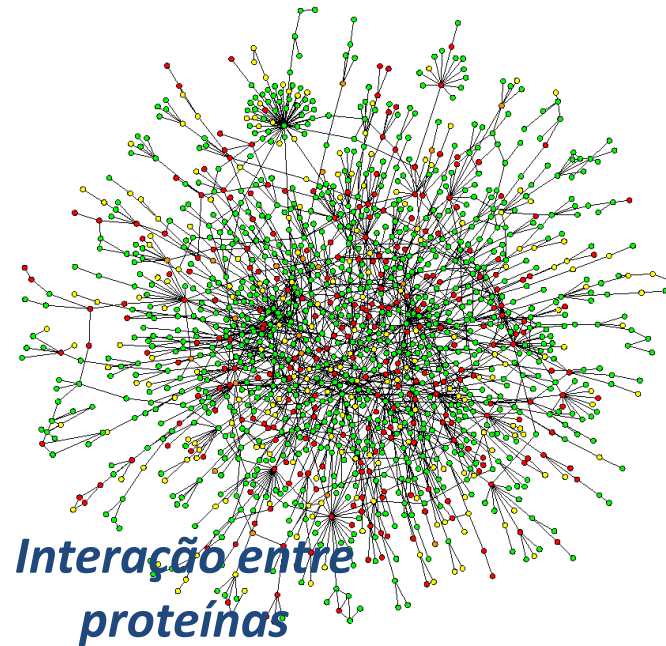


Aeroporto

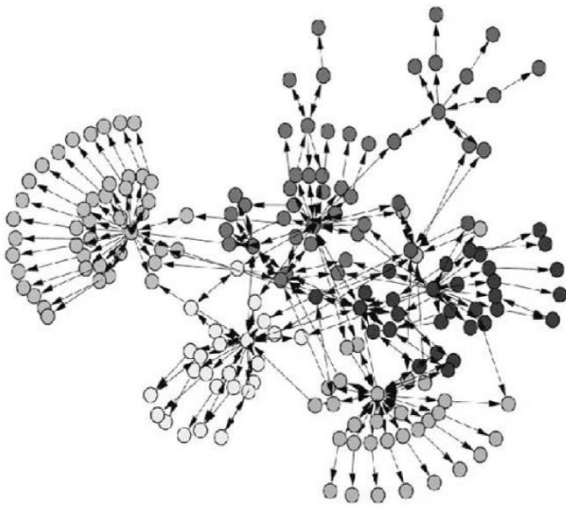


Cadeia alimentar

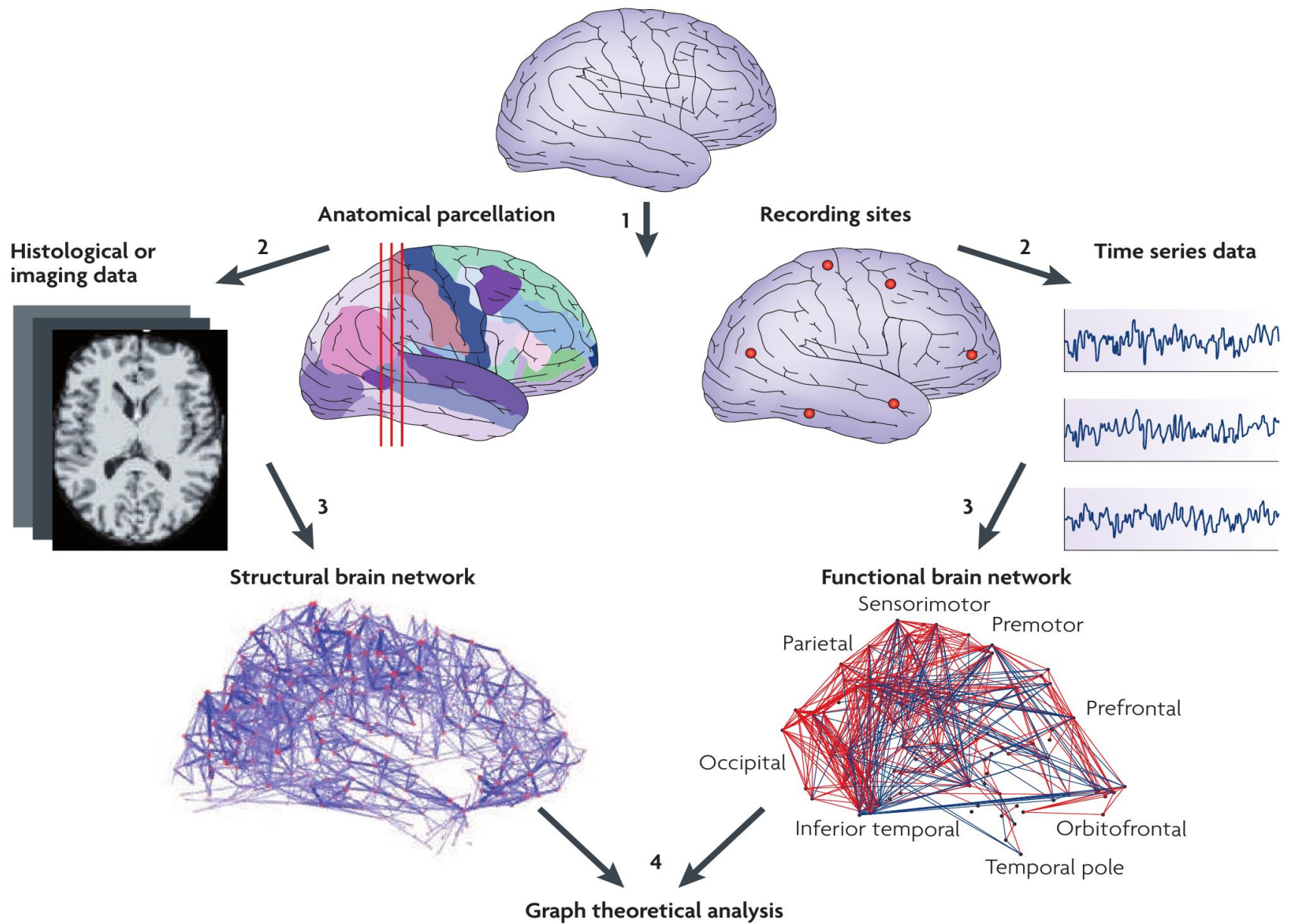
A simplified food web for the Northwest Atlantic

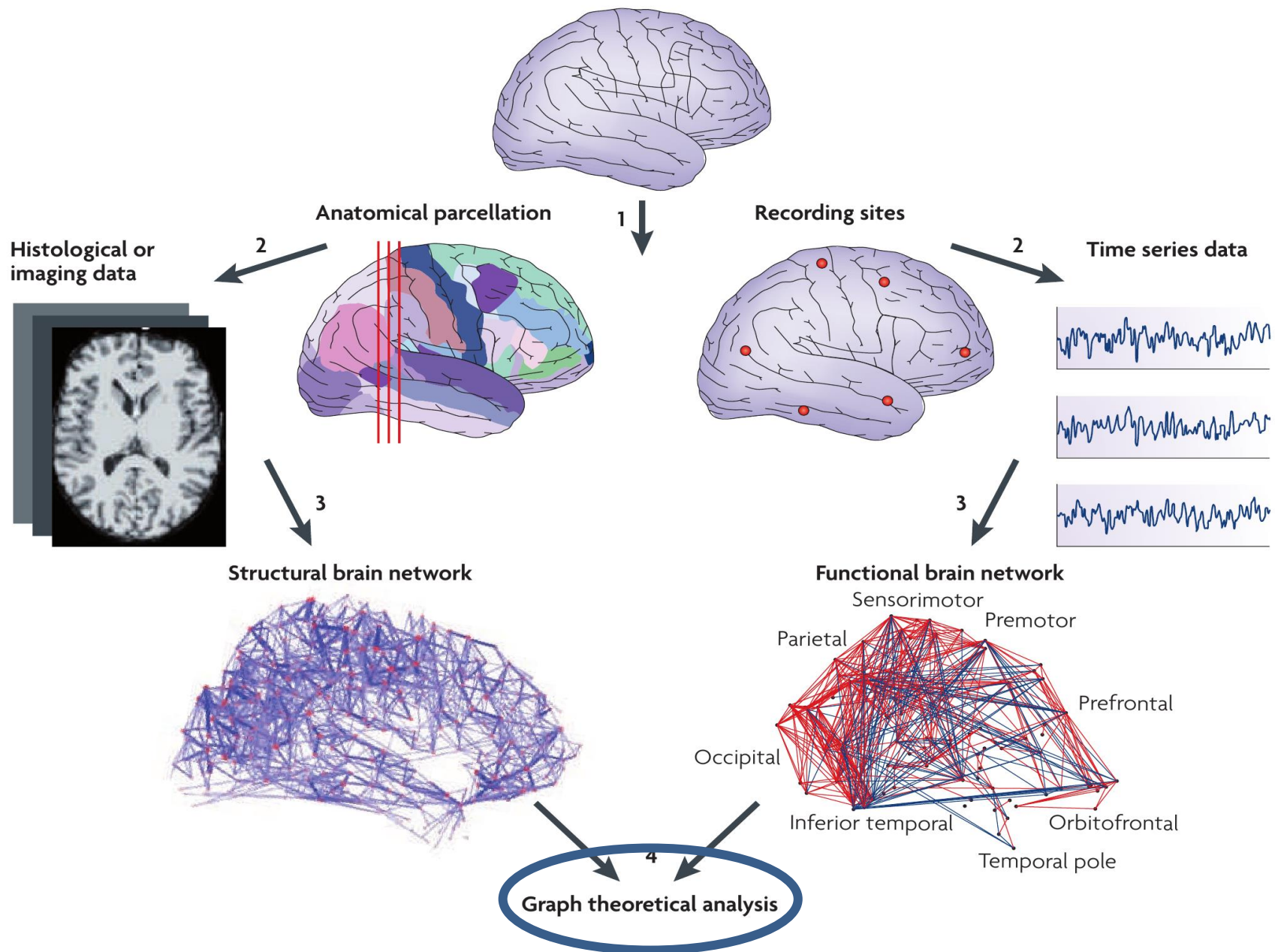


Interação entre proteínas

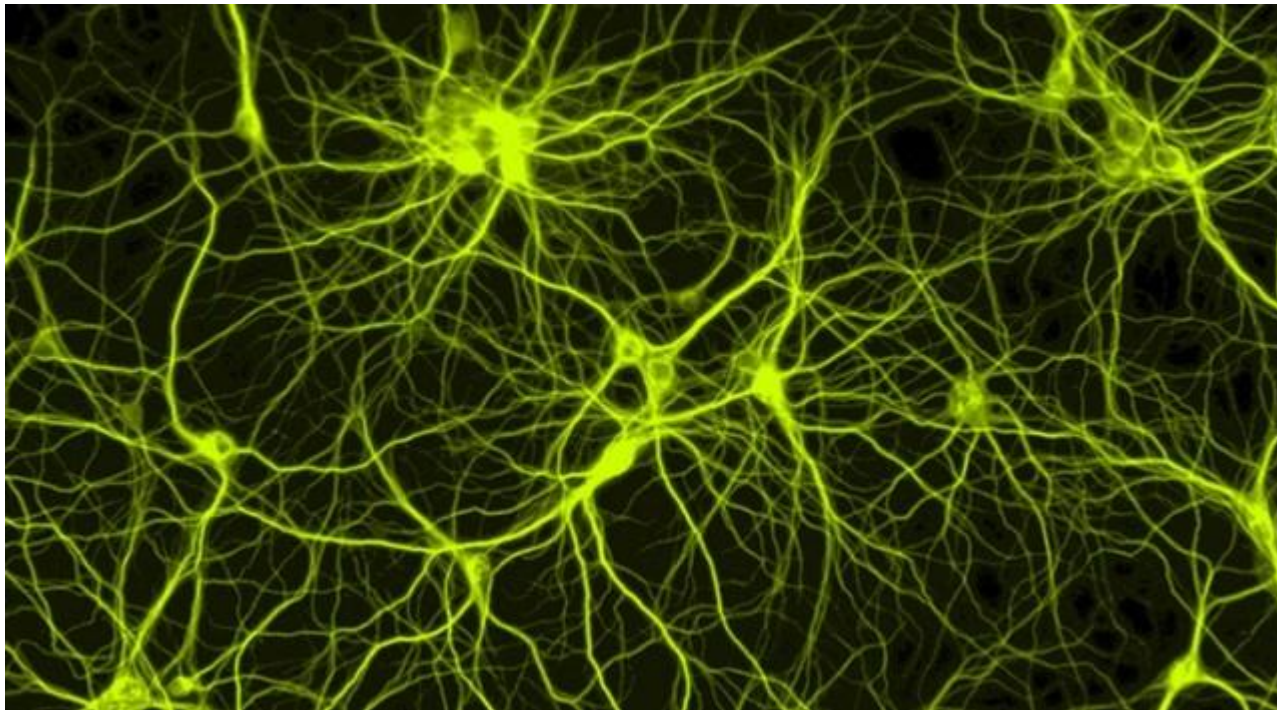


Web



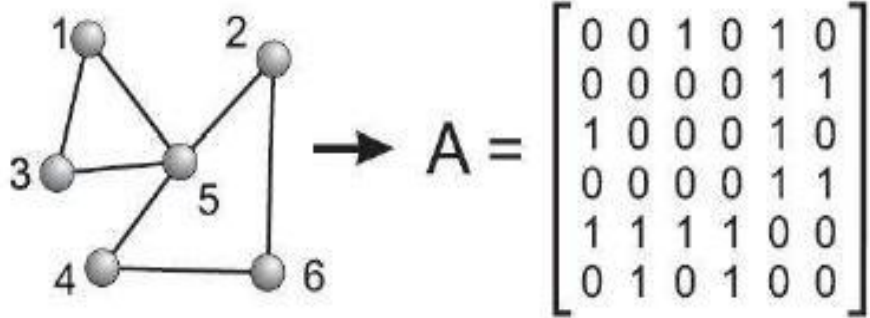


Imagina uma rede com milhões ou bilhões de elementos. Como visualizar a topologia e estudar as propriedades?

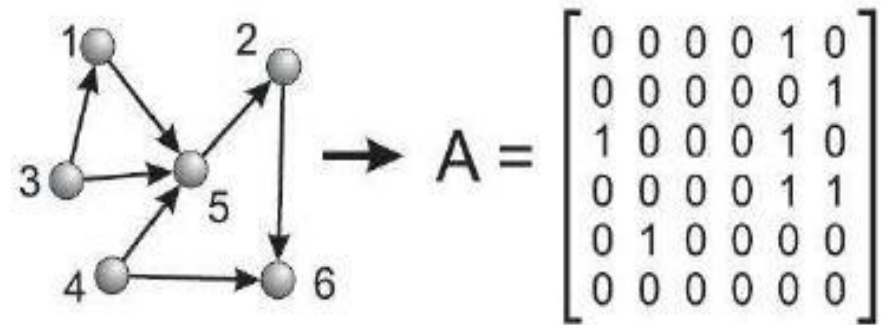


Matriz de adjacência

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ está conectado a } j \\ 0, & \text{do contrário} \end{cases}$$

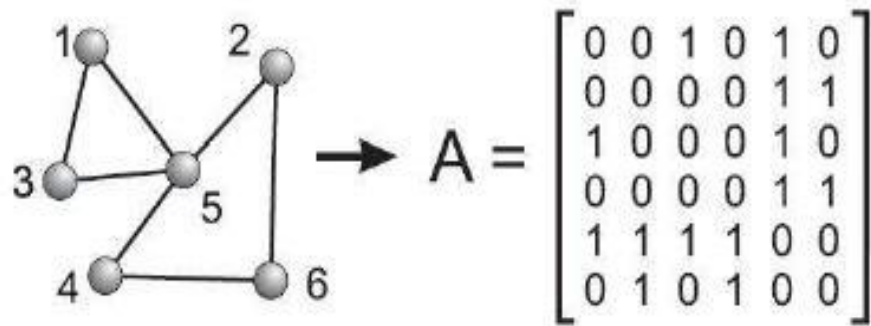


Rede não-dirigida



Rede dirigida

Matriz de adjacência



Rede não-dirigida

Grau $k_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}$

Propriedades espectrais

$$A\vec{v} = \lambda\vec{v}$$

Coeficiente de aglomeração

$$c_i = \frac{\sum_{j,m} a_{ij}a_{jm}a_{mi}}{k_i(k_i - 1)}$$





Icmc Usp shared CEPID - CeMEAI's video.

March 2 at 5:48pm · 🌐

Confira a reportagem mostrando um projeto de pesquisa do ICMC que poderá contribuir com o diagnóstico da esquizofrenia. O projeto é coordenado pelo professor Francisco Rodrigues, que também é pesquisador do CEPID-CeMEAI.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Clinical Neurophysiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/clinph



Structure and dynamics of functional networks in child-onset schizophrenia

Guilherme Ferraz de Arruda ^a, Luciano da Fontoura Costa ^b, Dirk Schubert ^c, Francisco A. Rodrigues ^{a,*}

^a Departamento de Matemática Aplicada e Estatística, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, CEP: 13566-590, São Carlos, SP, Brazil

^b Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 13560-970, São Carlos, SP, Brazil

^c Radboud University Medical Centre, Nijmegen, Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour, Department of Cognitive Neuroscience, Postbus 9101 6500 HB Nijmegen, The Netherlands

ARTICLE INFO

Article history:
Accepted 26 November 2013
Available online xxx

HIGHLIGHTS

- Cortical networks in healthy and child-onset schizophrenic subjects differ significantly in only a small number of large-scale network properties.
- Classification of networks of healthy and schizophrenic subjects yields sensitivity of 90% and specificity of 80%.

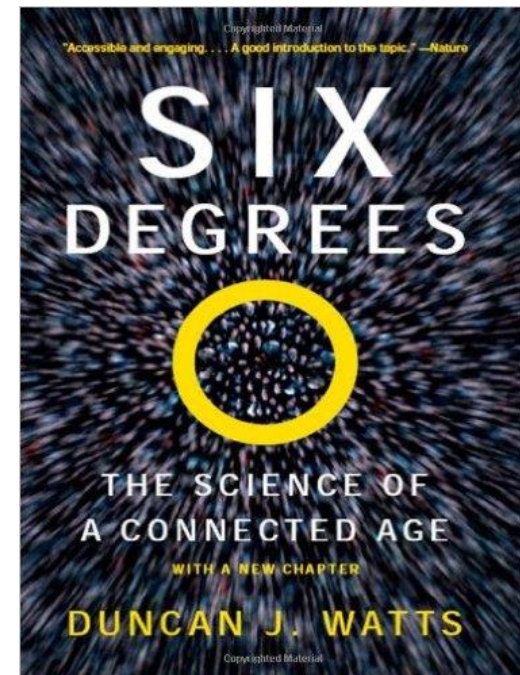
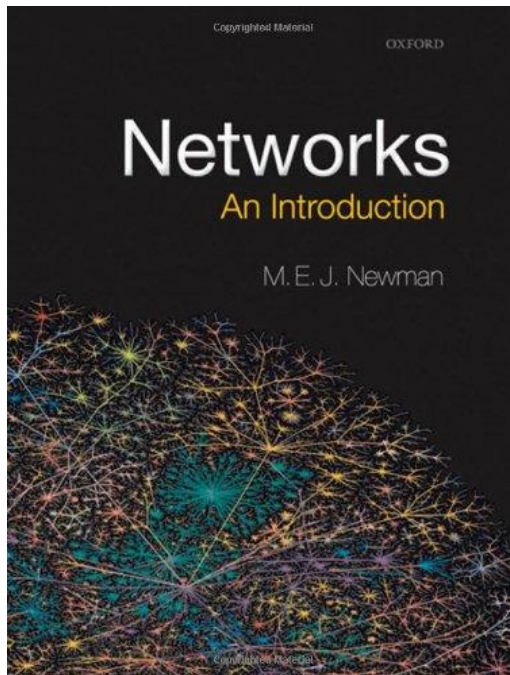
Próximo semestre...

2º Período Ideal

Créd.
Aula

<u>SCC0223</u>	Estruturas de dados I
<u>SME0230</u>	Introdução à Programação de Computadores
<u>SMA0304</u>	Álgebra Linear
<u>SMA0332</u>	Cálculo II
<u>SMA0301</u>	Cálculo I
<u>SMA0341</u>	Elementos de Matemática
<u>SME0281</u>	Acompanhamento Profissional II

Subtotal:



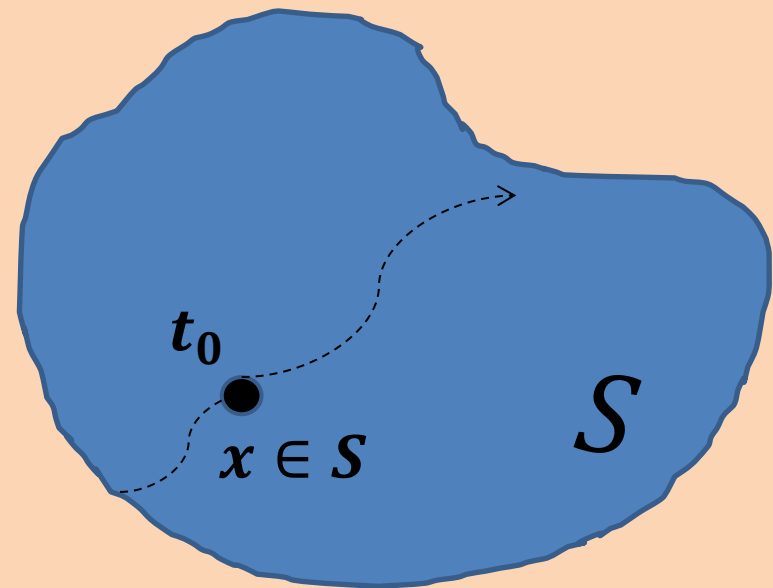
O que são sistemas dinâmicos ?

Sistemas dinâmicos

Definição: é um sistema onde uma **função** descreve a dependência **temporal** de um ponto em um **espaço de fase** (espaço geométrico).

Contínuo: $\frac{dx}{dt} = X(x), \quad t \in \mathbb{R}_+$

Discreto: $x_{t+1} = f(x_t), \quad t \in \mathbb{N}_0$



Espaço de fase

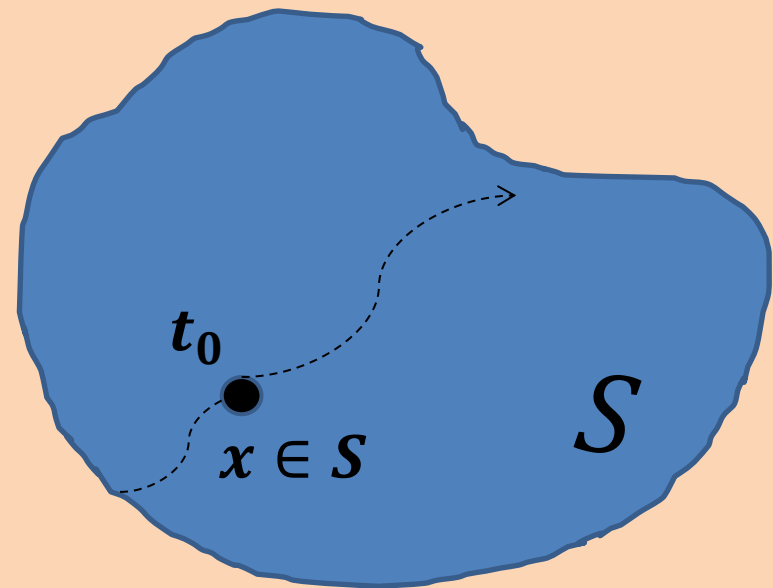
Sistemas dinâmicos

Definição: é um sistema onde uma **função** descreve a dependência **temporal** de um ponto em um **espaço de fase** (espaço geométrico).

Contínuo: $\frac{dx}{dt} = X(x), \quad t \in \mathbb{R}_+$

Discreto: $x_{t+1} = f(x_t), \quad t \in \mathbb{N}_0$

Lei de evolução temporal



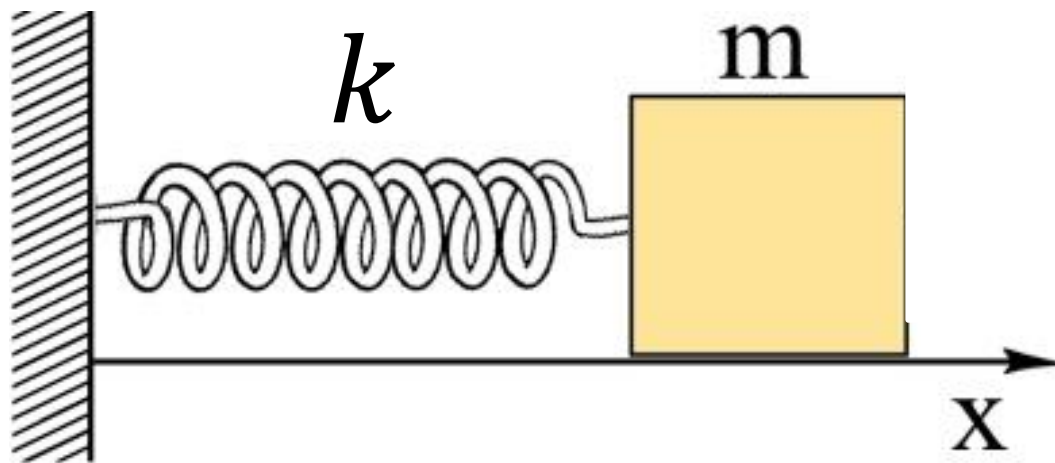
Espaço de fase

Lei de Newton

$$ma = F$$

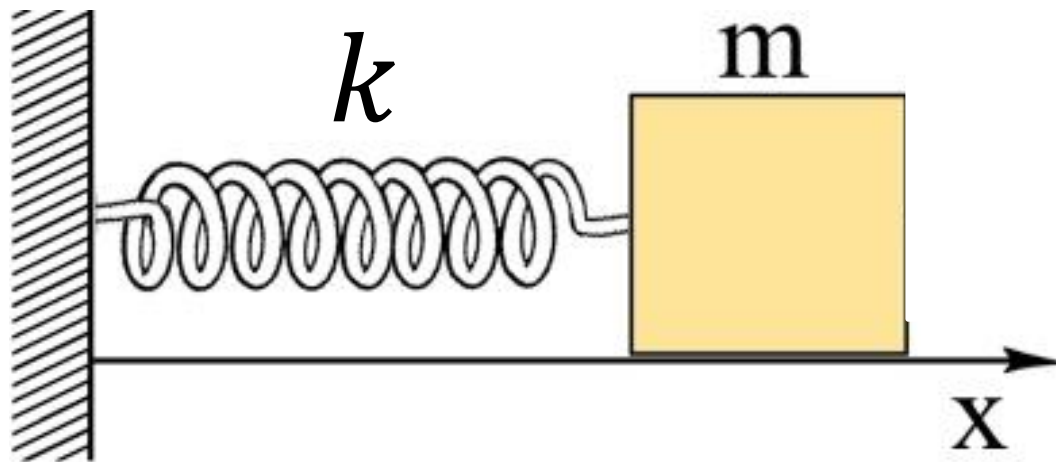
Massa mola

$$ma = F$$



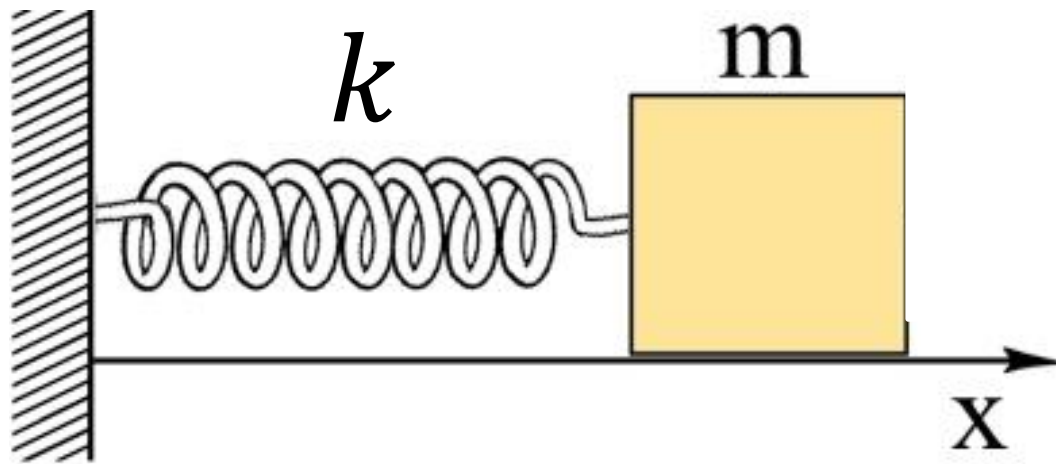
Massa mola

$$ma = -kx$$



Massa mola

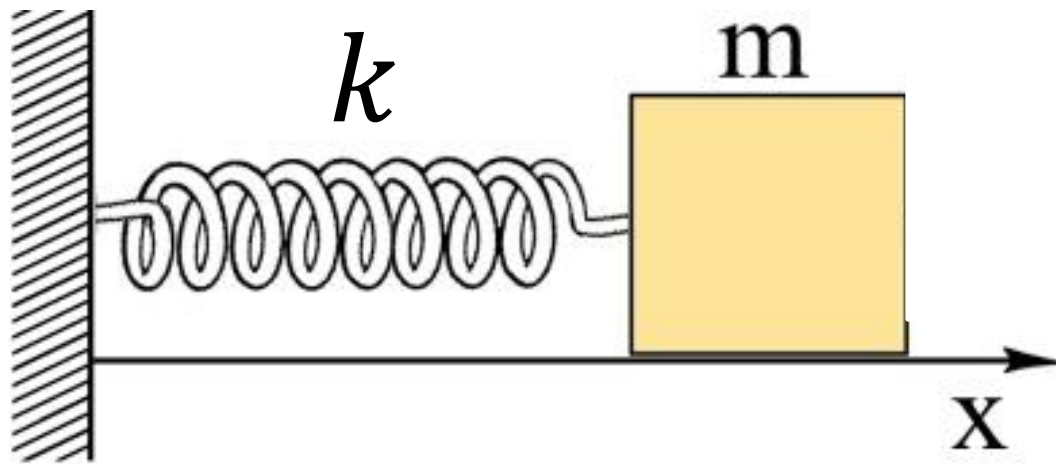
$$m \frac{d^2 x}{d^2 t} = -kx$$



Massa mola

$$\frac{dx}{dt} = v$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{k}{m}x$$



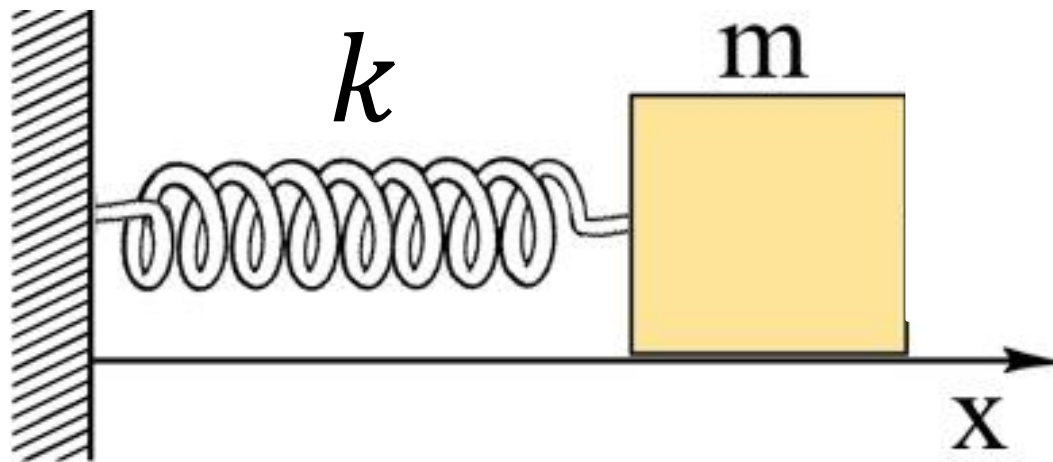
Massa mola

$$\frac{dx}{dt} = v$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{k}{m}x$$

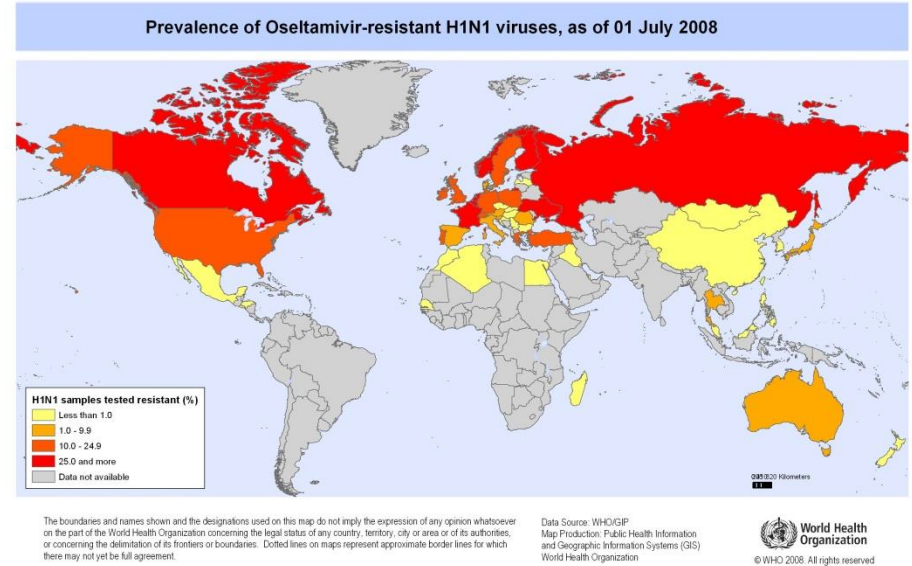
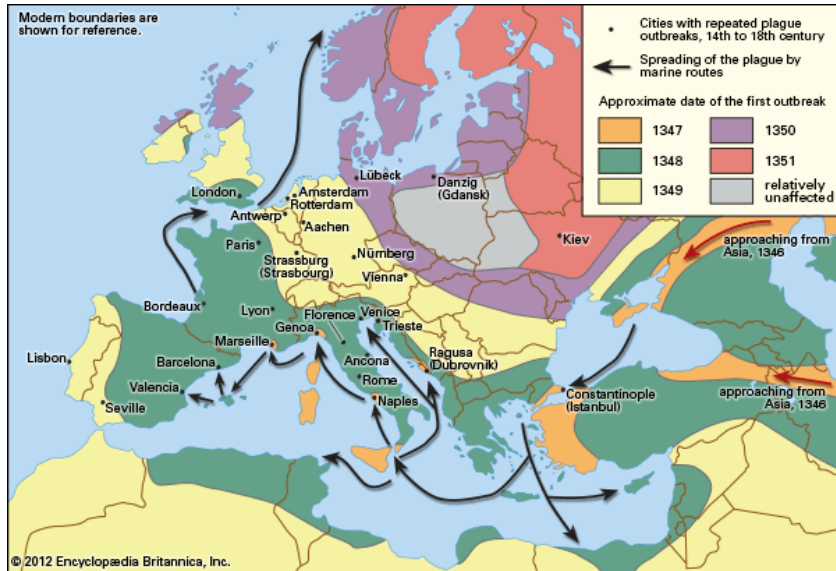
$$\frac{dx}{dt} = X(\mathbf{x}),$$

$$t \in \mathbb{R}_+$$



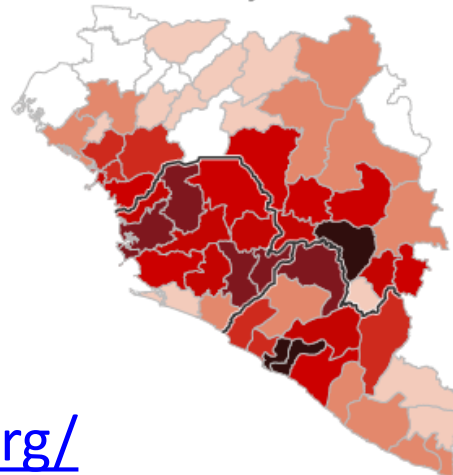
Sistemas dinâmicos contínuos

Propagação de doenças

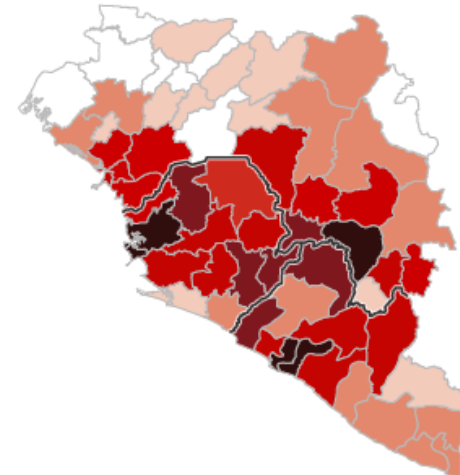


Peste Negra

February 2015



March 2015



H1N1

<http://www.gleamviz.org/>

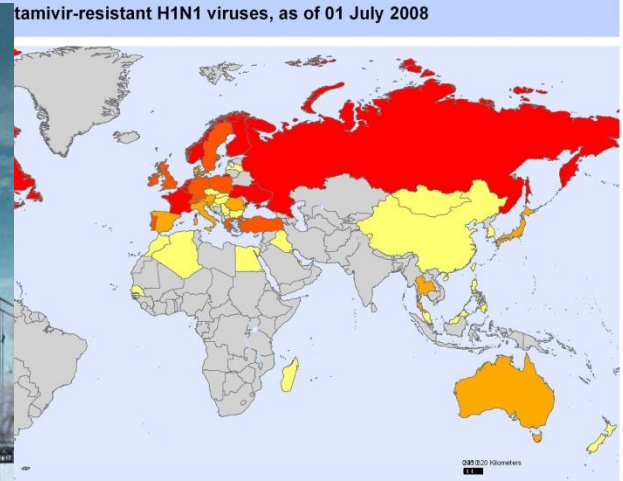
Ebola

Sistemas dinâmicos contínuos

Propagação de doenças



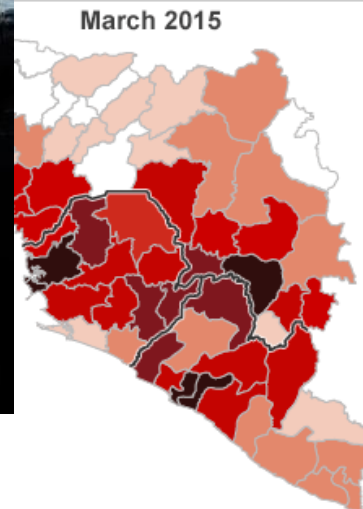
Peste Negra



Map do not imply the expression of any opinion whatsoever of any country, territory, city or area or of its authorities. Lines on maps represent approximate border lines for which the Commission cannot be held responsible.

Data Source: WHO/GIP
Map Production: Public Health Information and Geographic Information Systems (GIS)
World Health Organization

 World Health Organization
© WHO 2008. All rights reserved



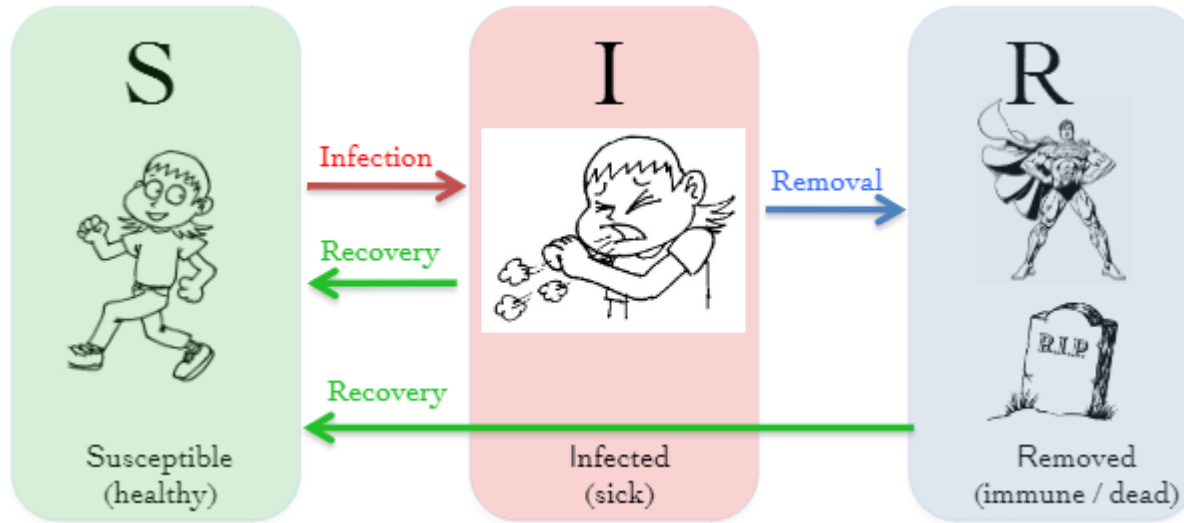
H1N1

Ebola

<http://www.gleamviz.org/>

Sistemas dinâmicos contínuos

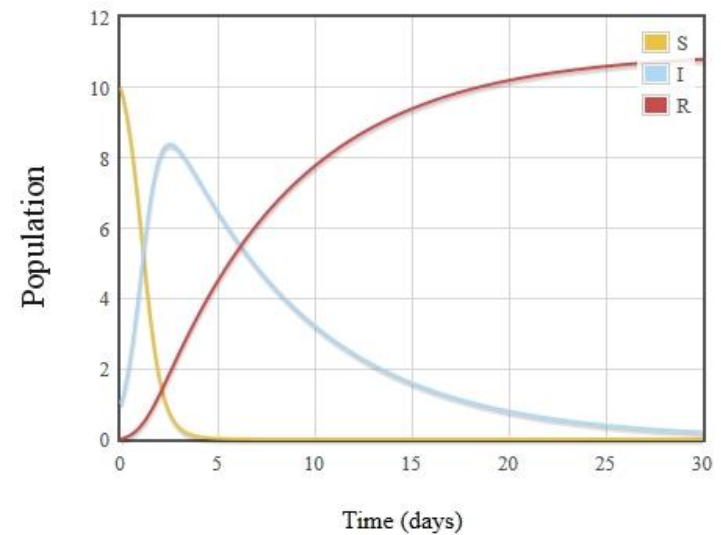
Propagação de doenças



$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI + \mu(N - S)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I - \mu I$$

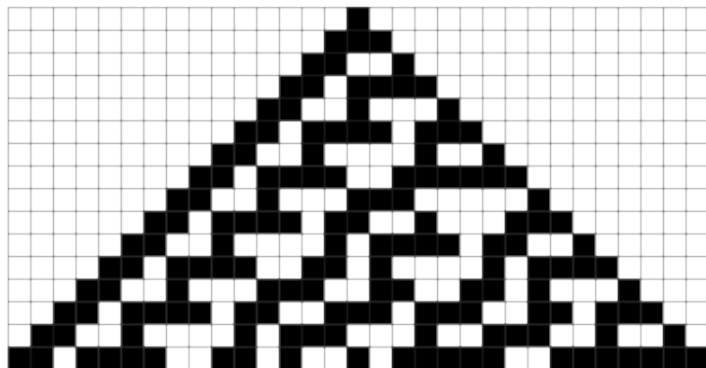
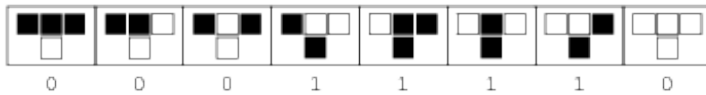
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R$$



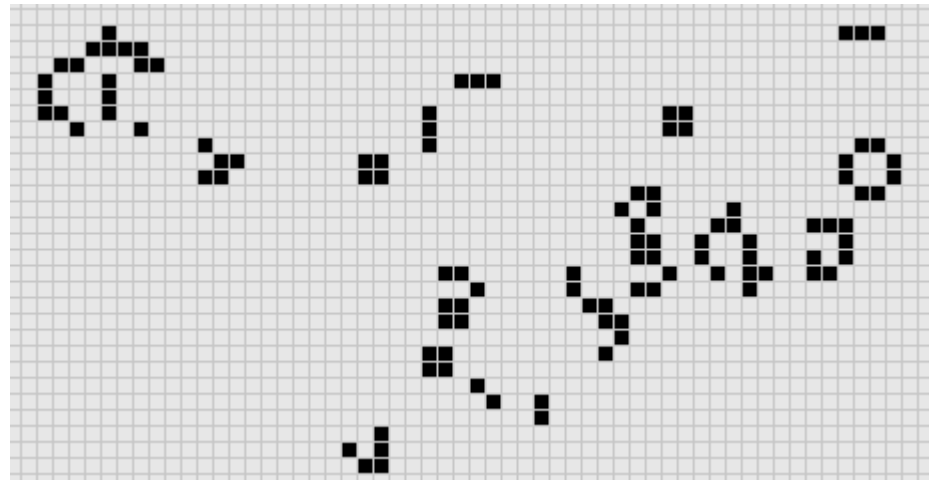
Sistemas dinâmicos discretos

Autômatos celulares

rule 30



Conway's "Game of life" – (1970)

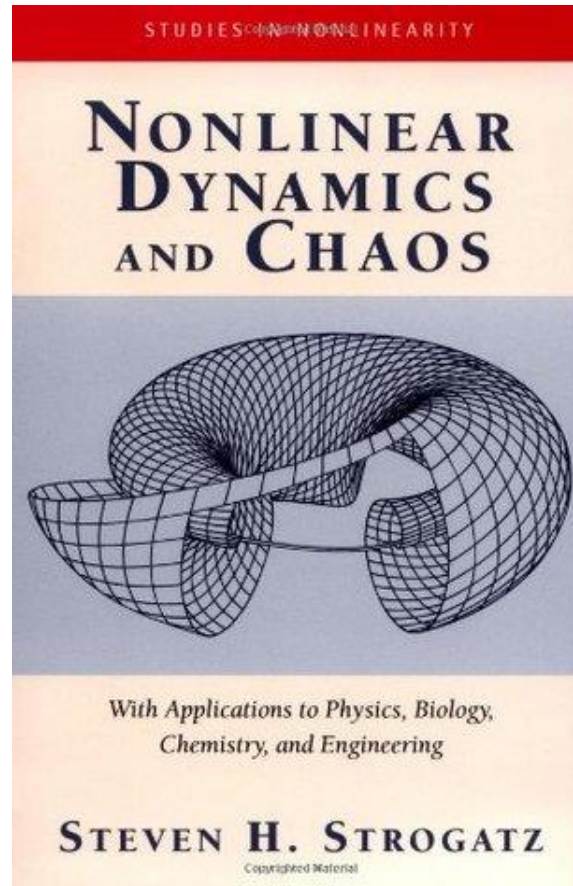


Próximo semestre...

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.
<u>FCM0101</u>	Física I		6
<u>SCC0224</u>	Estruturas de dados II		4
	SCC0223 - Estruturas de dados I		
<u>SMA0305</u>	Álgebra I		4
	SMA0341 - Elementos de Matemática		
<u>SMA0333</u>	Cálculo III		4
	SMA0301 - Cálculo I		
<u>SME0240</u>	Equações Diferenciais Ordinárias		4
	SMA0301 - Cálculo I		
	SMA0304 - Álgebra Linear		
<u>SME0241</u>	Introdução à Modelagem Matemática		2
		Subtotal:	24

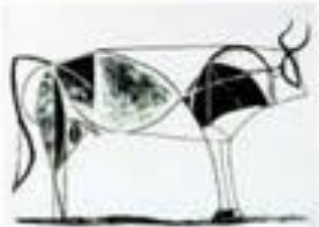
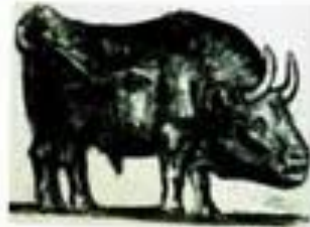
5º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.
<u>SCC0204</u>	Programação Orientada a Objetos		4
	SCC0214 - Projeto de Algoritmos		
<u>SMA0169</u>	Equações Diferenciais Parciais		4
	SMA0332 - Cálculo II		
	SMA0333 - Cálculo III		
	SME0240 - Equações Diferenciais Ordinárias		
<u>SMA0307</u>	Análise I		4
	SMA0333 - Cálculo III		
<u>SME0206</u>	Métodos do Cálculo Numérico II		4
	SME0230 - Introdução a Programação de Computadores		
	SME0240 - Equações Diferenciais Ordinárias		
<u>SME0221</u>	Introdução à Inferência Estatística		4
	SME0220 - Introdução à Teoria das Probabilidades		
		Subtotal:	20

Algumas referências



Fenômenos críticos e Escala

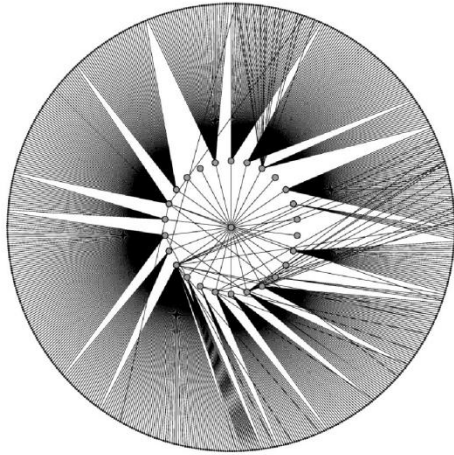
Universalidade



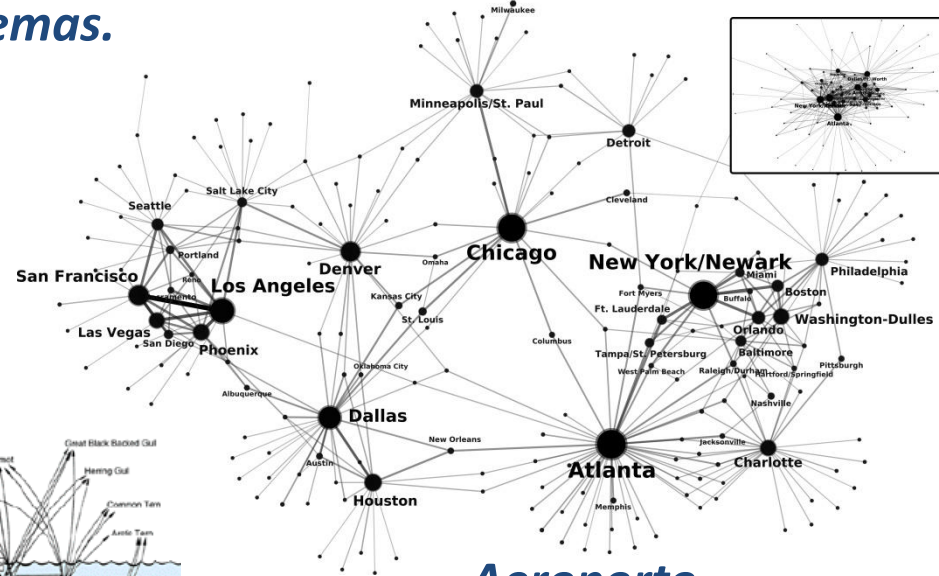
Picasso

Pablo Picasso, Bull (plates I - XI) 1945

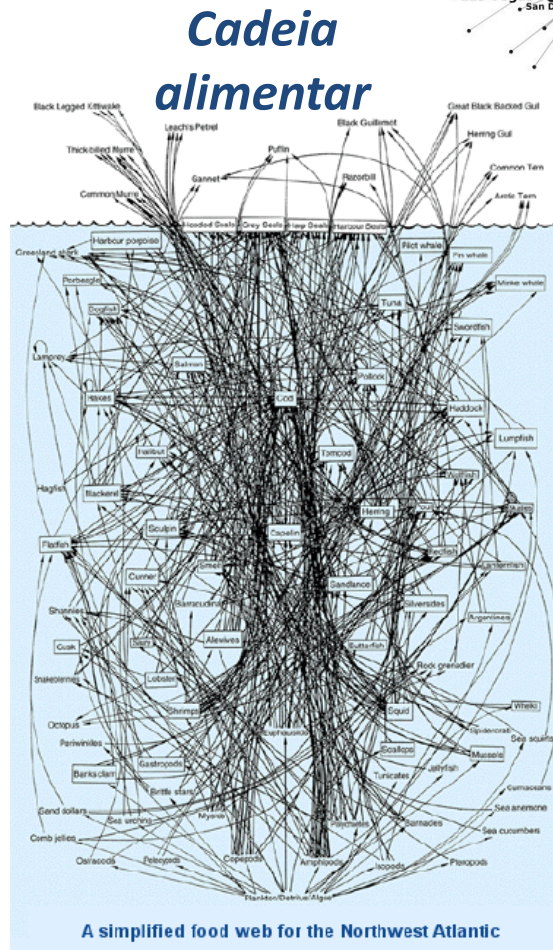
Redes Complexas: embora uma representação é simples, pode modelar diversos sistemas.



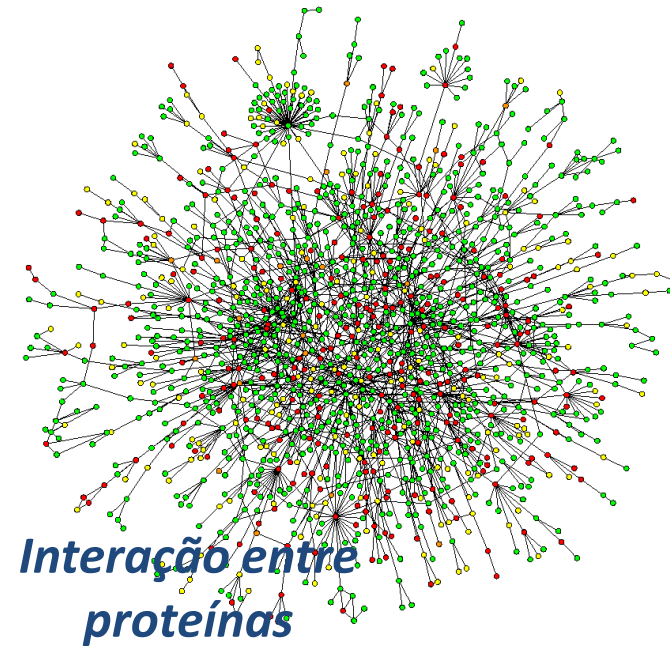
Redes de colaboração



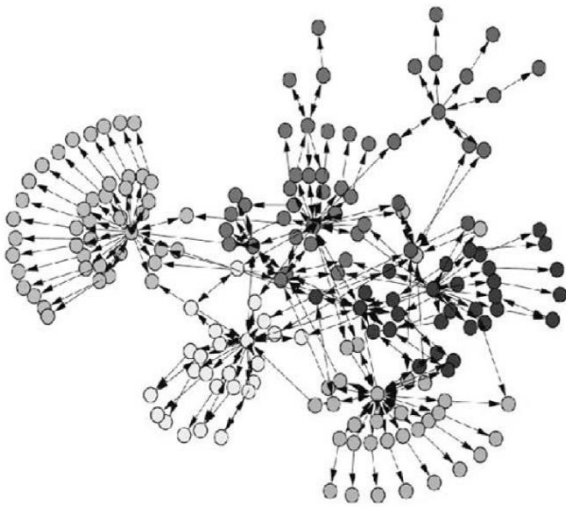
Aeroporto



A simplified food web for the Northwest Atlantic

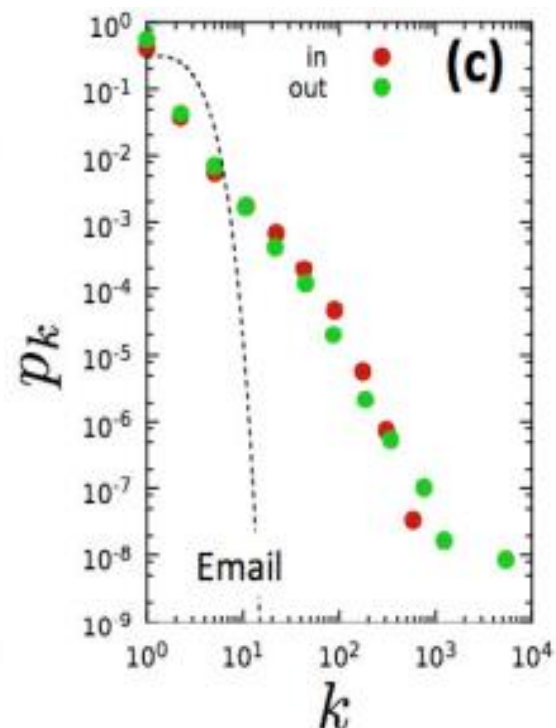
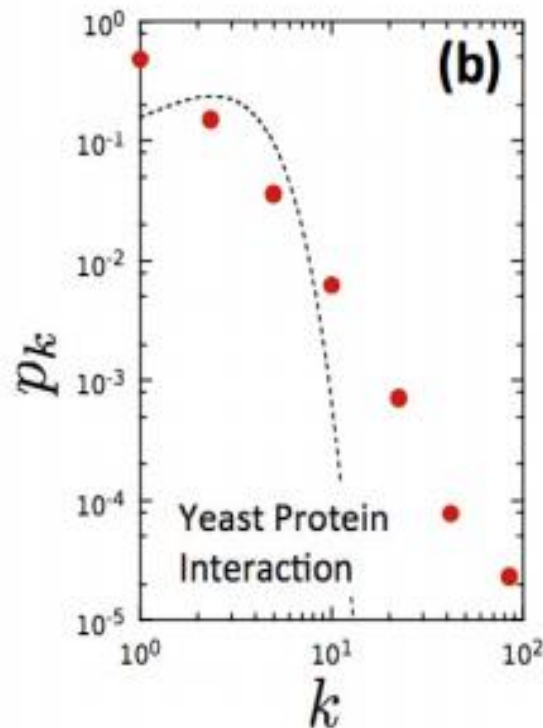
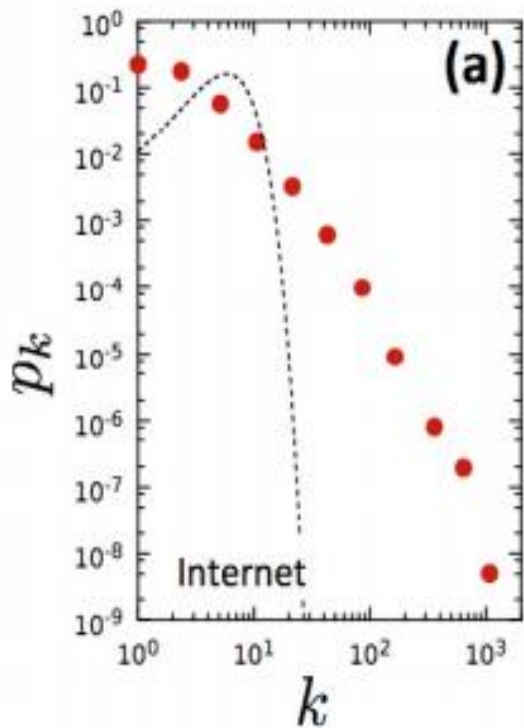


Interação entre proteínas

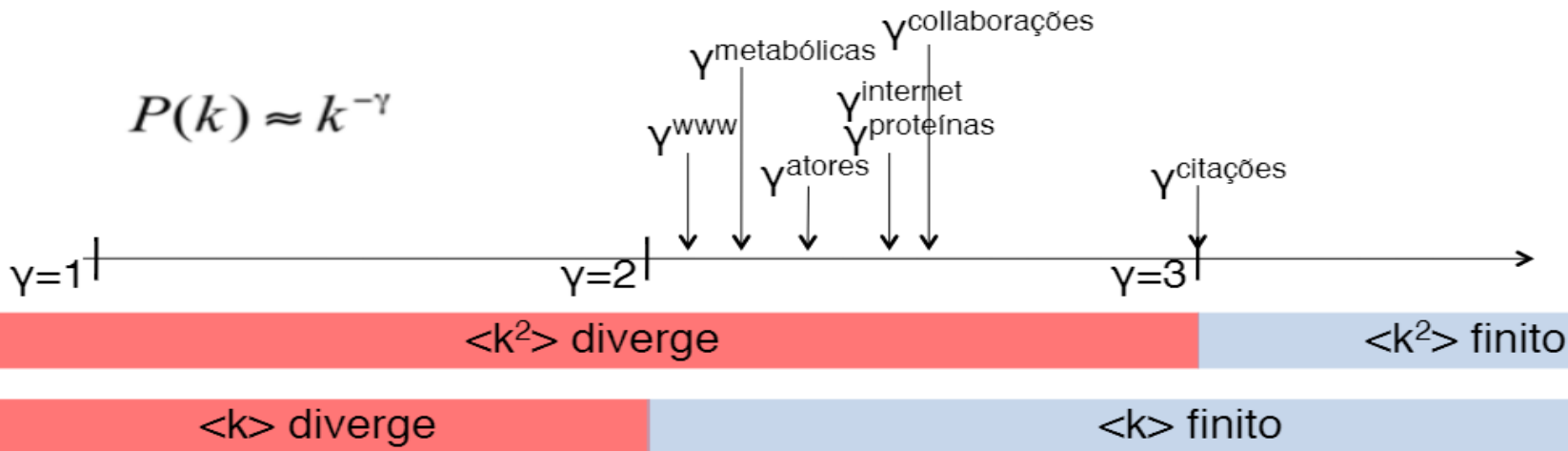


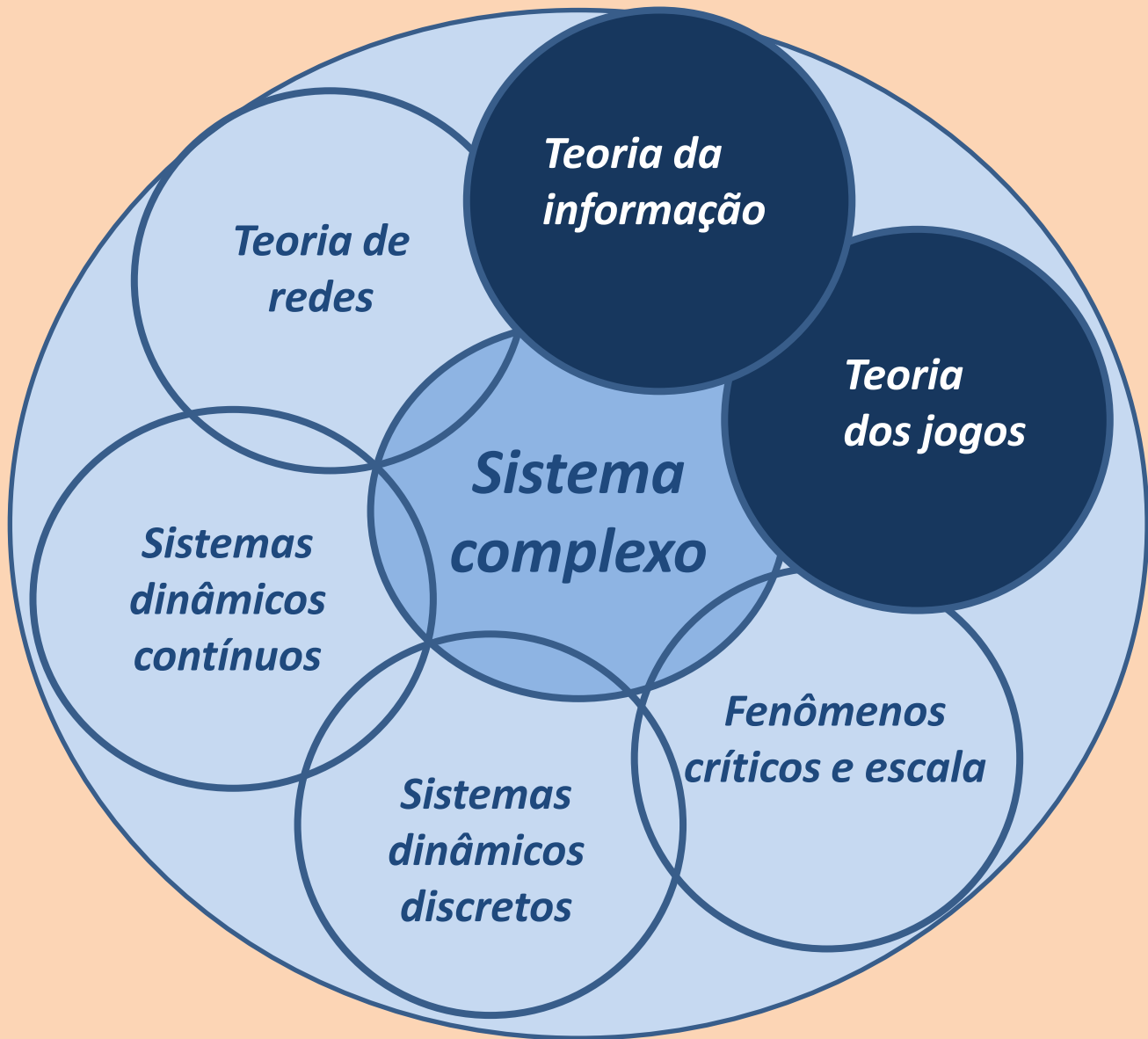
Web

Tem a mesma forma!



$$P(k) \approx k^{-\gamma}$$





**Teoria da
informação**

**Teoria de
redes**

**Teoria
dos jogos**

**Sistema
complexo**

**Sistemas
dinâmicos
contínuos**

**Fenômenos
críticos e escala**

**Sistemas
dinâmicos
discretos**

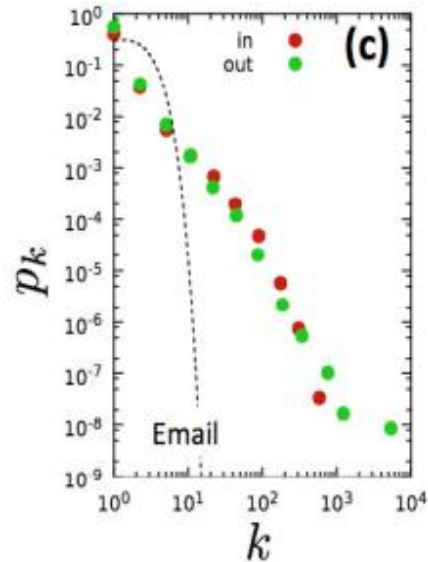


A pesquisa é coordenada por Francisco Rodrigues, professor do Icmc Usp e pesquisador do CEPID - CeMEAI

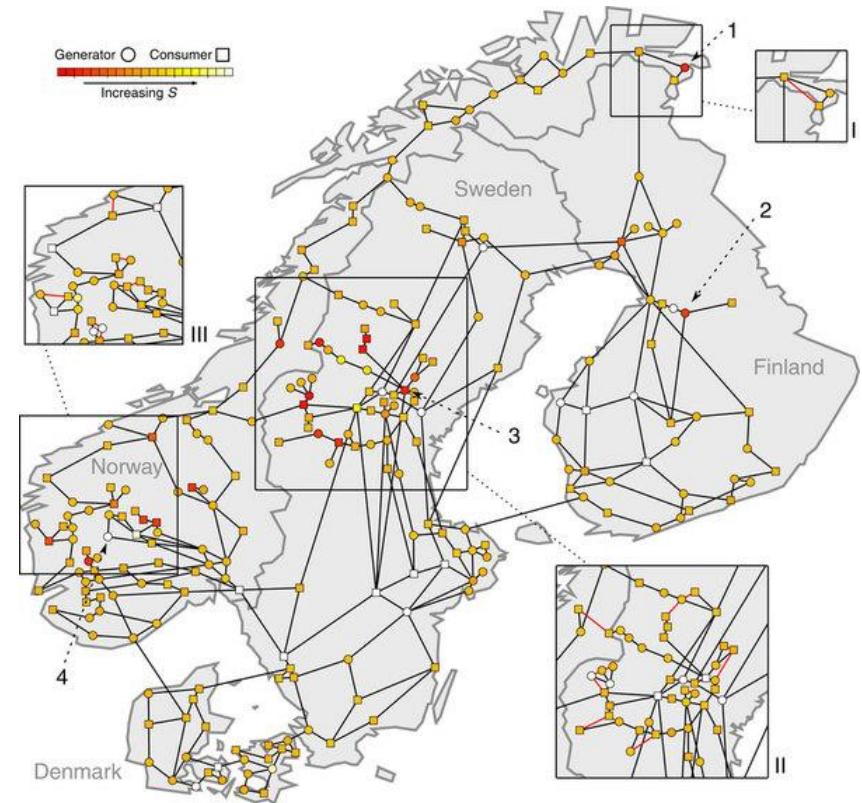


Cidades: Estudo modela propagação de epidemias e de rumores nas redes sociais

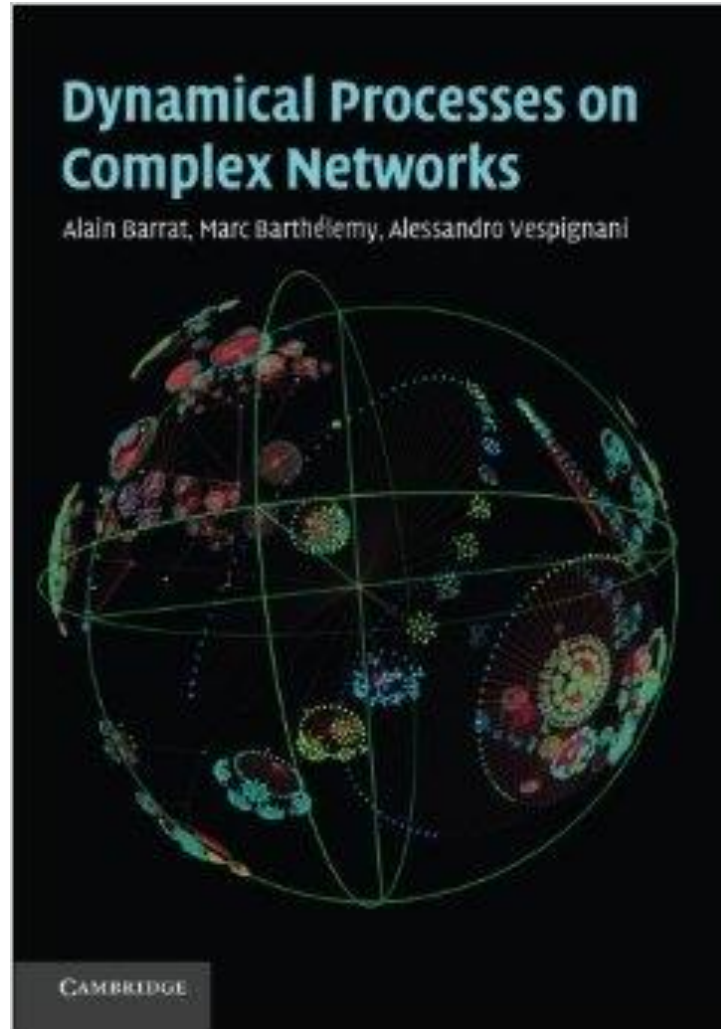
Grupo de pesquisa do Centro de Ciências Matemáticas Aplicadas à Indústria (CeMEAI), com sede no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação...



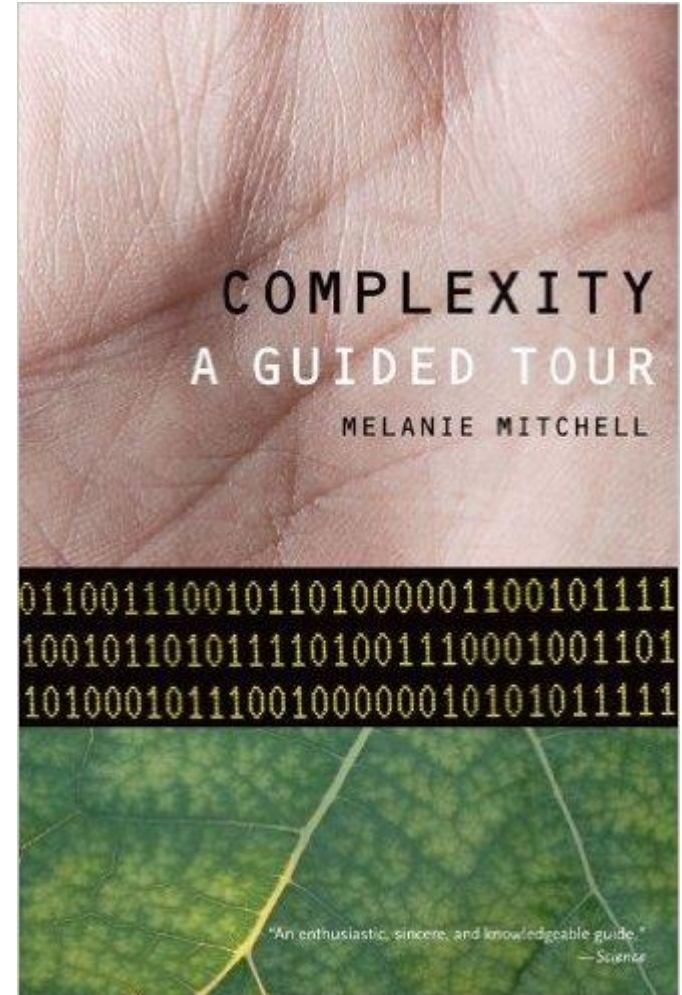
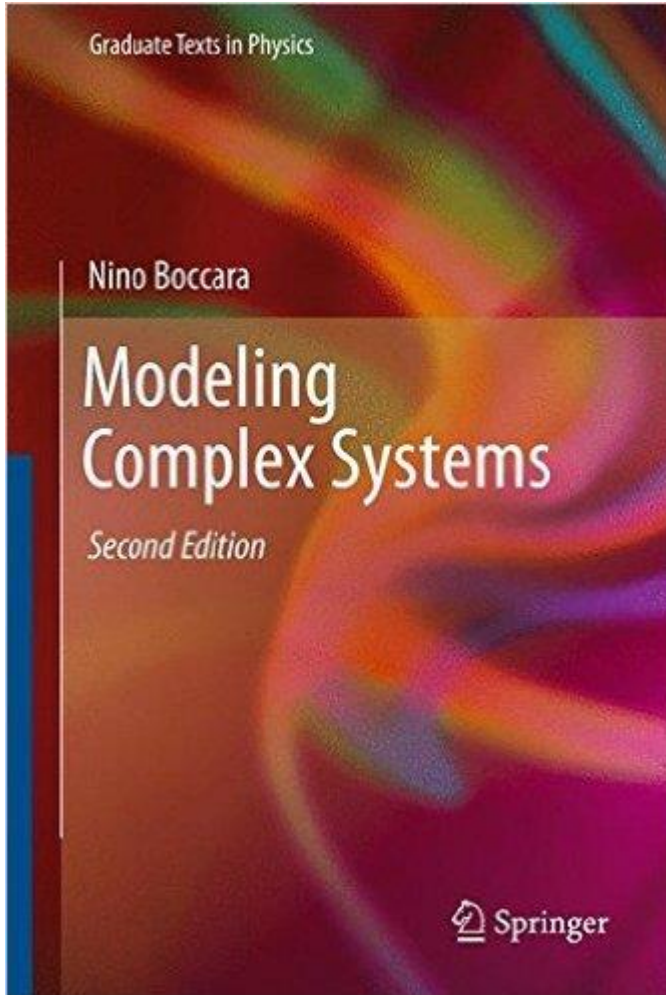
Northern European power grid



Algumas referências



Algumas referências



Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

Sistemas Complexos, Partículas e Controle

Laboratório de Sistemas Complexos, Partículas e Controle
Departamento de Matemática Aplicada e Estatística



Eduardo Fontoura Costa
Prof. Associado - MS - 5.3

+ [DETALHES](#)



Francisco Aparecido Rodrigues
Prof. Associado - MS - 5.1

+ [DETALHES](#)



Pablo Martín Rodríguez
Prof. Doutor - MS - 3.1

+ [DETALHES](#)







Paulo Afonso Faria da Veiga
Prof. Titular - MS - 6

+ [DETALHES](#)

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

Análise Aplicada e Geométrica

Departamento de Matemática Aplicada e Estatística

			
<u>Everaldo de Mello Bonotto</u>	<u>Marcio Fuzeto Gameiro</u>	<u>Paulo Afonso Faria da Veiga</u>	<u>Ton Marar</u>
Prof. Associado - MS - 5.1	Prof. Associado - MS - 5.1	Prof. Titular - MS - 6	Prof. Associado - MS - 5.3
+ DETALHES	+ DETALHES	+ DETALHES	+ DETALHES

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

Sistemas Dinâmicos e Teoria Ergódica

Laboratório de Sistemas Dinâmicos
Departamento de Matemática

Sistemas Dinâmicos Não Lineares

Laboratório de Sistemas Dinâmicos Não Lineares
Departamento de Matemática

Computação Bioinspirada

Laboratório de Computação Bioinspirada
Laboratório de Aprendizado de Robôs
Laboratório de Sistemas Complexos Adaptativos
Departamento de Ciências de Computação
www.biocom.icmc.usp.br
lar.icmc.usp.br

Núcleo Interinstitucional de Linguística Computacional

Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Linguística Computacional
Departamento de Ciências de Computação
www.nilc.icmc.usp.br

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

PESSOAS





Cynthia de Oliveira Lage Ferreira.


Prof. Doutor - MS - 3.1 - SME
Doutor (MS3) - RDIDP

Email: cynthia@icmc.usp.br

Sala: 3-135

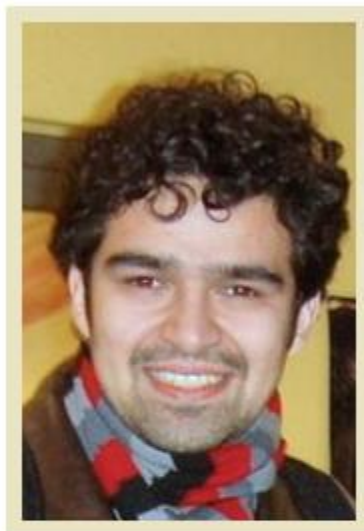
 Telephone: +55 (16) 3373-6710

 [Contato por E-mail](#)

 [Página Pessoal](#)

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?

PESSOAS




Tiago Pereira da Silv.

Prof. Associado - MS - 5.1 - SME
Doutor (MS3) - RDIDP

Email: tiago@icmc.usp.br

Sala: 3-141

 Telefone: +55 (16) 3373-6711

 [Currículo Lattes](#)

 [Grupos CNPq](#)

 [Contato por E-mail](#)

 [Página Pessoal](#)

Como encontrar pessoas que trabalhem com estes tópicos como pesquisa?




Elisa Yumi Nakagawa


Professor Associado 1 - SSC
Livre-Docente (MS5) - RDIDP

Email: elisa@icmc.usp.br

Sala: 4-203

 Telefone: +55 (16) 3373-9662

Laboratório
Engenharia de Software

 [Currículo Lattes](#)

 [Grupos CNPq](#)

 [Contato por E-mail](#)

 [Página Pessoal](#)

Odemir Martinez Bruno

Associado MS-5 RDIDP

Grupo de Computação Interdisciplinar



 (16) 3373.8728

Áreas de Pesquisa:
Computação

Luciano da Fontoura Costa

Titular MS-6 RDIDP

Grupo de Computação Interdisciplinar



 (16) 3373.9858

Áreas de Pesquisa:
Visão Cibernética

Linhas de Pesquisa:

- Processamento de Imagens
- Modelagem e Simulação
- Redes Complexas
- Síntese, simulação e análise de estruturas neurais biologicamente realistas

Gonzalo Travieso

Doutor MS-3 RDIDP

Grupo de Computação Interdisciplinar



 (16) 3373.9857

Áreas de Pesquisa:
Computação

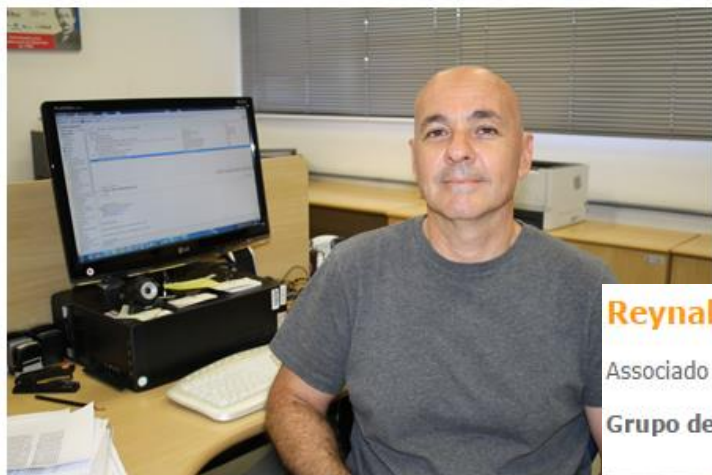
Linhas de Pesquisa:

- Sistemas computacionais distribuídos e peer-to-peer
- Redes Complexas
- Sistemas computacionais em grade
- Programação de sistemas paralelos

José Fernando Fontanari

Titular MS-6 RDIDP

Grupo de Física Teórica



    (16) 3373.9849

Áreas de Pesquisa:

Mecânica Estatística
Biomatemática

Linhas de Pesquisa:

- Modelagem matemática do comportamento social
- Evolução pré-biótica e a origem da vida
- Transições de fase de não equilíbrio em modelos de agentes

Reynaldo Daniel Pinto

Associado MS-5 RDIDP

Grupo de Física Computacional e Instrumental



    (16) 3373.8729

Áreas de Pesquisa:

Neurobiofísica

Leonardo Paulo Maia

Doutor MS-3 RDIDP

Grupo de Física Computacional e Instrumentação Aplicada



    (16) 3373.8725

Áreas de Pesquisa:

Computação

Linhas de Pesquisa:

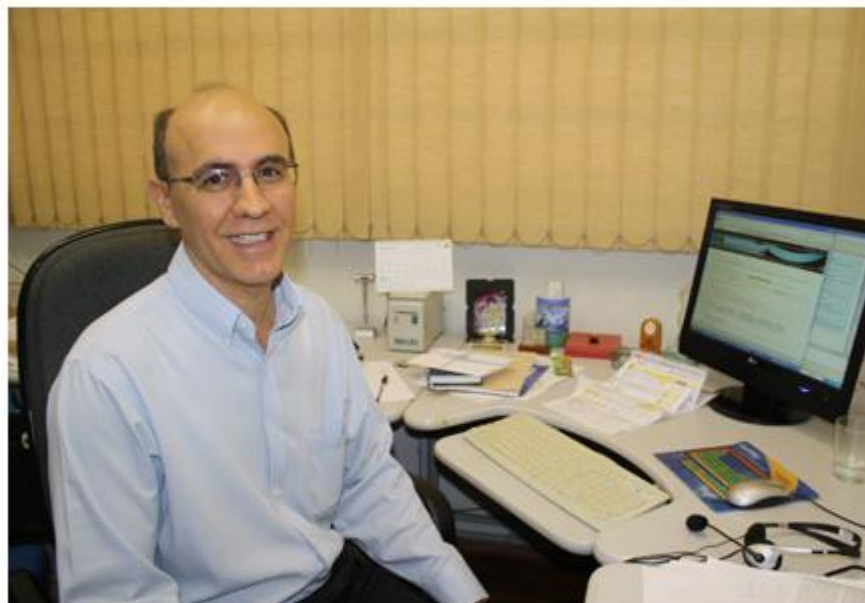
- Sistemas Complexos
- Dinâmica não linear
- Física Biológica
- Neurociência Teórica

Oswaldo Novais de Oliveira Junior

Titular MS-6 RDIDP

Grupo de Polímeros "Prof. Bernhard Gross"

<http://www.polimeros.ifsc.usp.br>



   (16) 3373.9825(217)

Áreas de Pesquisa:

Polímeros

Linhas de Pesquisa:

- Filmes Langmuir-Blodgett e Automontados
- Polímeros com Propriedades Ópticas não-lineares
- Polímeros Condutores

Contato:

edmilson.roque.santos@usp.br

Obrigado!

