

***"Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos :  
dos imãs e vidros de spin ao Cerrado"***

**Prof. Dr. Paulo César de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)**

**Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)**

**Seminário - PPGQ  
UFSCar, 27 de outubro/2017**

## FORMATO E CONTEXTO

### Parte 01.

**Inteligência Coletiva & Sistemas Complexo: procurando entender Imãs e Vidros de Spin (Prof. Dr. Paulo César de Camargo)**

### Parte 02.

**Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos: uma aplicação ao Cerrado (Prof. Dr. Sérgio Mattos)**

**Conceitos e métodos de Sistemas Complexos do universo mecânico a sistemas envolvendo vida e sociedade**

**Objetivos gerais:**

- 1. Mostrar que a visão de Sistemas Complexos é unificadora do conhecimento (Consilência) e adequada para o momento atual.**
- 2. Frequentemente estimula e demanda o uso da Inteligência Coletiva.**
- 3. Nos habilita a utilizar recursos que vão bem além de nossas competências individuais, permitindo-nos explorar questões complexas e interdisciplinares sempre com uso do método científico.**

**A "filosofia" adotada é bem representada pelo livro de "O Quark e o Jaguar: Aventuras no Simples e no Complexo" de Murray Gell-Mann (Nobel de física em 1969) e difundida pelo Santa Fe Institute de New Mexico-USA ([www.santafeinstitute.edu](http://www.santafeinstitute.edu))**

## Parte 01.

Inteligência Coletiva & Sistemas Complexo: procurando entender  
Imãs e Vidros de Spin (Prof. Dr. Paulo César de Camargo)

### INTELIGÊNCIA COLETIVA e SISTEMAS COMPLEXOS

#### Algumas referências

- Center for Collective Intelligence do MIT [cci.mit.edu](http://cci.mit.edu)  
“Handbook of Collective Intelligence”
- Piérre Levy. referência com diversas publicações e apresentações.  
<http://www.sp.senac.br/sites/pierrelevy/index2.html> 2015.
- Collective Intelligence: Creating a Prosperous World at Peace. Mark Tovey editor.(2015).
- O prof. Sergio Mascarenhas de Oliveira tem atuado em Sistemas Complexos na saúde propôs a criação da Engenharia de Sistemas Complexos, nos 40 anos do DEMA (2012).
- O prof. J. C. Piqueira-Diretor da Poli-USP criou o curso Engenharia da Complexidade em Santos-SR início-2019.
- Rápida busca no google mostra várias iniciativas de pesquisadores de instituições como: IFSC e ICMC da USP\_SC, Unicamp, CBPF, UFRGS, UFAlfenas.
- O IPEA (2015): Perspectivas da Complexidade para a Educação no Brasil, recomendando que se adote esta visão no ensino no Brasil.

# EXEMPLOS ATUAIS DE INTELIGÊNCIA COLETIVA

- Google:

conhecimento coletivo gerado por milhões de pessoas  
usa algoritmos espertos e tecnologia sofisticada  
produz respostas, frequentemente muito inteligentes

- Wikipedia:

tecnologia simples

técnicas de motivação

produziu uma enciclopédia incrivelmente completa e atualizável a partir iniciativas individuais e sem coordenação centralizada.

- Innocentive:

Criado para resolver questões de interesse da empresa Eli Lilly, A empresa utiliza a Inteligência Coletiva de milhares de cientistas, em rede propondo soluções à questões com valores de US\$1mil a US\$1milhão.

- Software livre. Linux (IBM):

Exemplar caso de sucesso de Inteligência Coletiva.

Netlogo é um dos milhares de exemplos de sucesso desta abordagem.

## CRITÉRIOS PARA FORMAR GRUPOS COLETIVAMENTE MAIS INTELIGENTES

- Do Center for Collective Intelligence do MIT
- “Our basic research question is: How can people and computers be connected so that—collectively—they act more intelligently than any person, group, or computer has ever done before?” Thomas Malone
- Como formar grupos coletivamente mais inteligentes ?
- Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups
- *Science* 29 Oct 2010:  
Vol. 330, Issue 6004, pp. 686-688
- 03 fatores: sensibilidade social média dos membros, grupos não dominados por poucos membros, proporção de mulheres (maior sensibilidade social). Exemplo de um dos testes\*
- Fatores que não se mostraram relevantes: União no grupo, motivação e satisfação.

# ***Teste da Sensibilidade social.*** **Thomas Malone et al in *Science* 29 Oct 2010:**

## **Progress: face 4 of 37**

Do not press "Reload" or the back button. If you do, you will have to restart the experiment from scratch!

What emotion are the eyes showing?

- joking
- flustered
- desire
- convinced

Proceed

joking

flustered



desire

convinced

# FERRAMENTAS PARA SISTEMAS COMPLEXOS

- NETLOGO.
- Possibilita a exploração de fenômenos emergentes. Disponibiliza uma extensa biblioteca de modelos em uma variedade de assuntos incluindo artes, economia, biologia, física, química, psicologia e sistemas dinâmicos.
- NetLogo é um software livre que tem sido utilizado em uma ampla variedade de contextos educacionais do ensino fundamental até à pós-graduação.

# Construindo um Modelo Basedo em Agentes-ABM

Qual é o fenômeno de seu interesse ?

- (1) Qual parte do fenômeno você quer modelar ? Verifique se o fenômeno é apropriado para ser representado por agentes.
- (2) Relacione os tipos de agentes envolvidos no fenômeno ?
- (3) Descreva as propriedades de cada tipo de agente envolvido.
- (4) Para cada agente escreva as ações (ou comportamento) esperado.
- (5) Relacione o ambiente (espaço, rede de relações, e características específicas). Certifique-se que o ambiente esta bem definido.
- (6) Se você tiver que discretizar em passos definidos temporalmente, quais eventos e em qual ordem devem ocorrer ? Descreva o que ocorre durante cada passo.
- (7) Quais parâmetros alimentam seu modelo (inputs) ? Identifique cada entrada.
- (8) Oque você pretende observar como resultado (outputs) relevantes de sua simulação ?

# BIBLIOTECA NETLOGO : MODELO DE ISING

Primeiros vizinhos acoplam AFM

Segundos vizinhos acoplam FM

- Modelo de Ising Admite dois estados:

• Spin Up ↑

Spin Down ↓

- Vidro de Spin 2D

Rede regular com ligações aleatórias

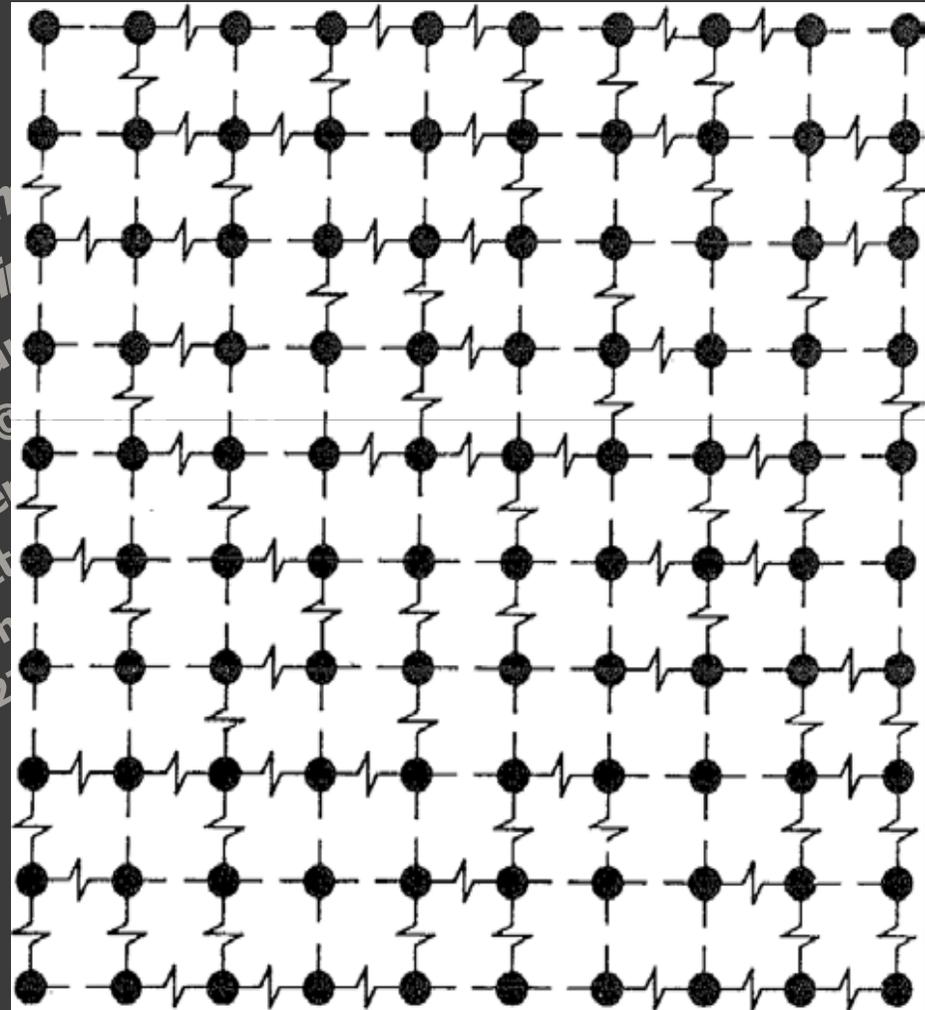
- FM dashed bonds ↑

- AFM zig-zag bonds ↓

- Caso típico  $\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{TiO}_3$   
Mydosh (1993) Energia de ligação dada por:

$$E = \sum_{ij} J_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j$$

$J_{ij}$  = fator de acoplamento



# VIDROS DE SPIN

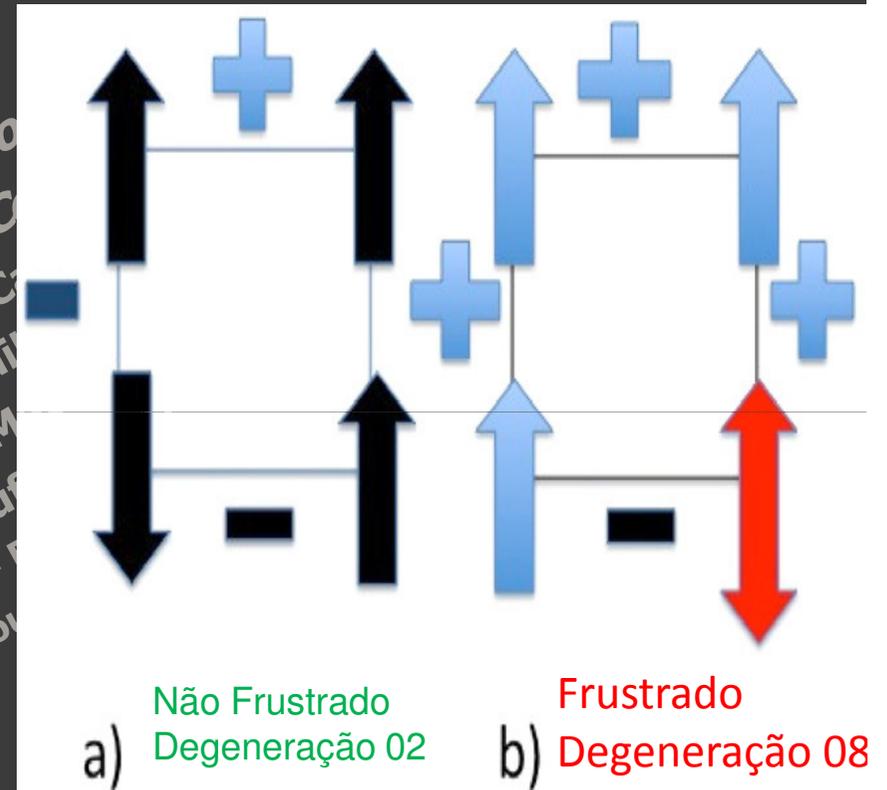
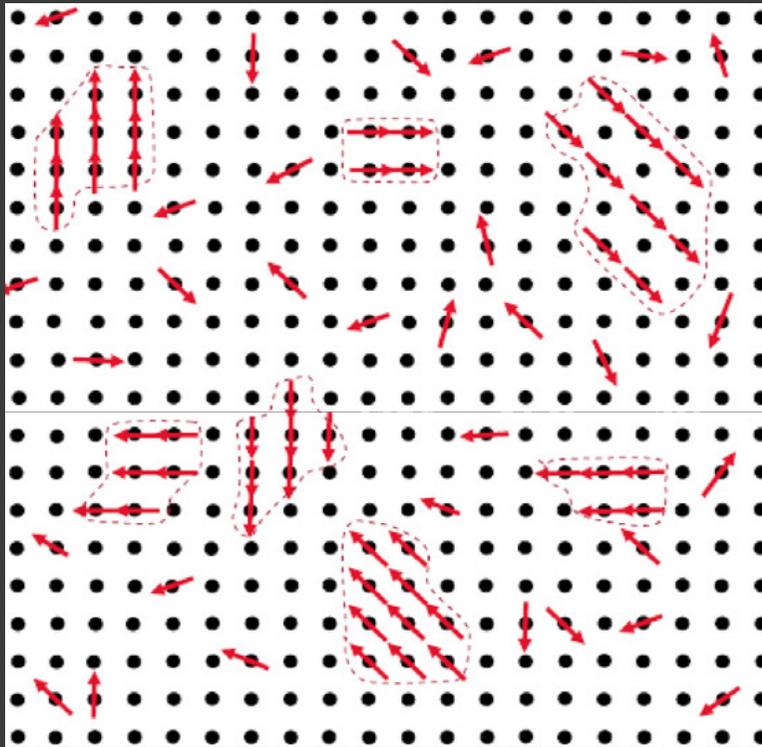
Os métodos estatísticos para entender este comportamento possibilitou diversas aplicações:

Buscando no Google com as palavras chave NetLogo e SpinGlass encontrei o programa:

## WHAT IS IT?

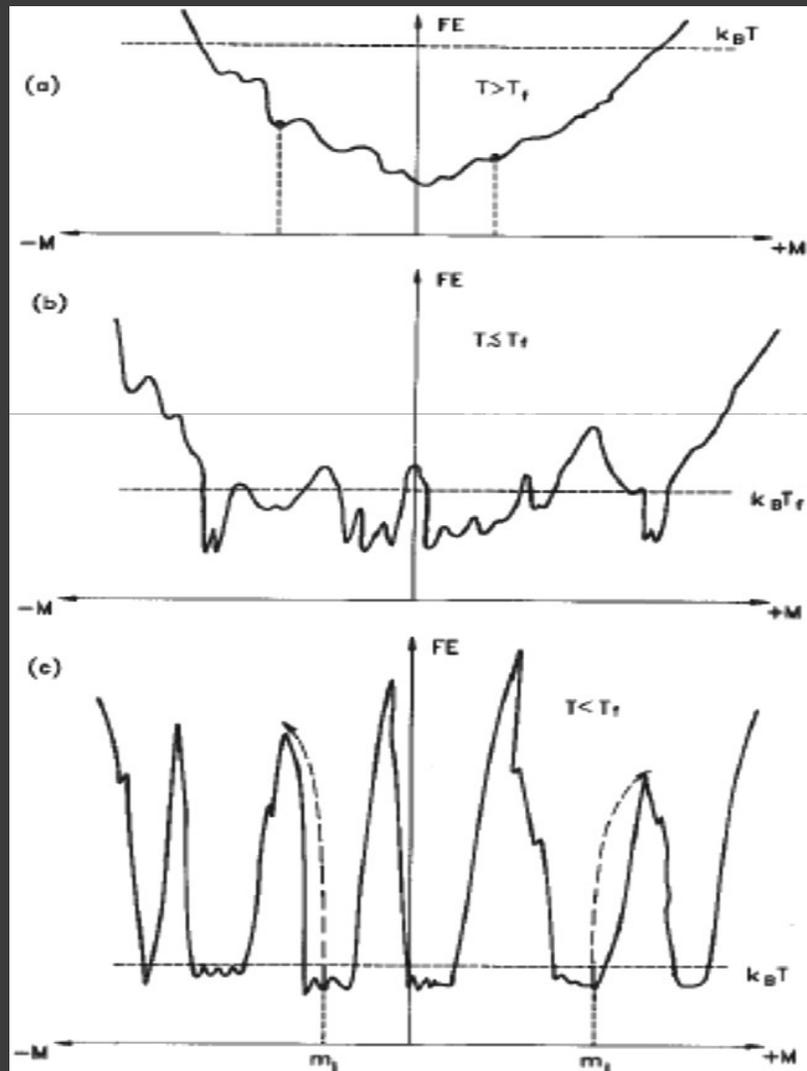
- This is a spin-glass and coupled map lattice combination model for a political decision evolutionary game where each agent (patch) can decide to join one of two coalitions in supporting a measure.
- The model incorporates nonlinear dynamics and evolutionary game theory. There is a coadaptive learning dynamics on political resources.
- The coalition also illustrates an example of aggregation in complex adaptive systems, where the coalition is consensus-driven to either support or not a certain political measure being placed to voting.

# SPIN GLASS



**Figure 1.** Random-site model in 2D with the inclusion of the ferromagnetic 'cluster glass'. Note the SG phase transition involves the cooperative freezing of the individual spins without the cluster glass. Typical examples of random-site materials are  $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$  and  $\text{Eu}_x\text{Sr}_{1-x}\text{S}$  for  $x < 0.1$ . See Mydosh (1993).

# Landscape Evolution



**multivalley landscape**

SG freezing multiply valleys of phase space.

metastable valleys as the SG seeks its true equilibrium ground state.

Note the SG phase transition involves the cooperative freezing of the individual spins without the cluster glass. Typical examples of random-site materials are  $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$  and  $\text{Eu}_x\text{Sr}_{1-x}\text{S}$  for  $x < 0.1$ . See Mydosh (1993).

# AGORA VEM O CERRADO

- OBRIGADO!
- Paulo César de Camargo
- [camargofisico@gmail.com](mailto:camargofisico@gmail.com)
- (16)981999841

Inovação e Sistemas Complexos:  
"Inovação e vídeos de spin ao cerrado"  
Prof. Dr. Paulo César de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)  
Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)  
Seminário - PPGQ  
UFSCar, 27 de outubro/2017

## Parte 02.

### Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos: uma aplicação ao Cerrado (Prof. Dr. Sérgio Mattos)

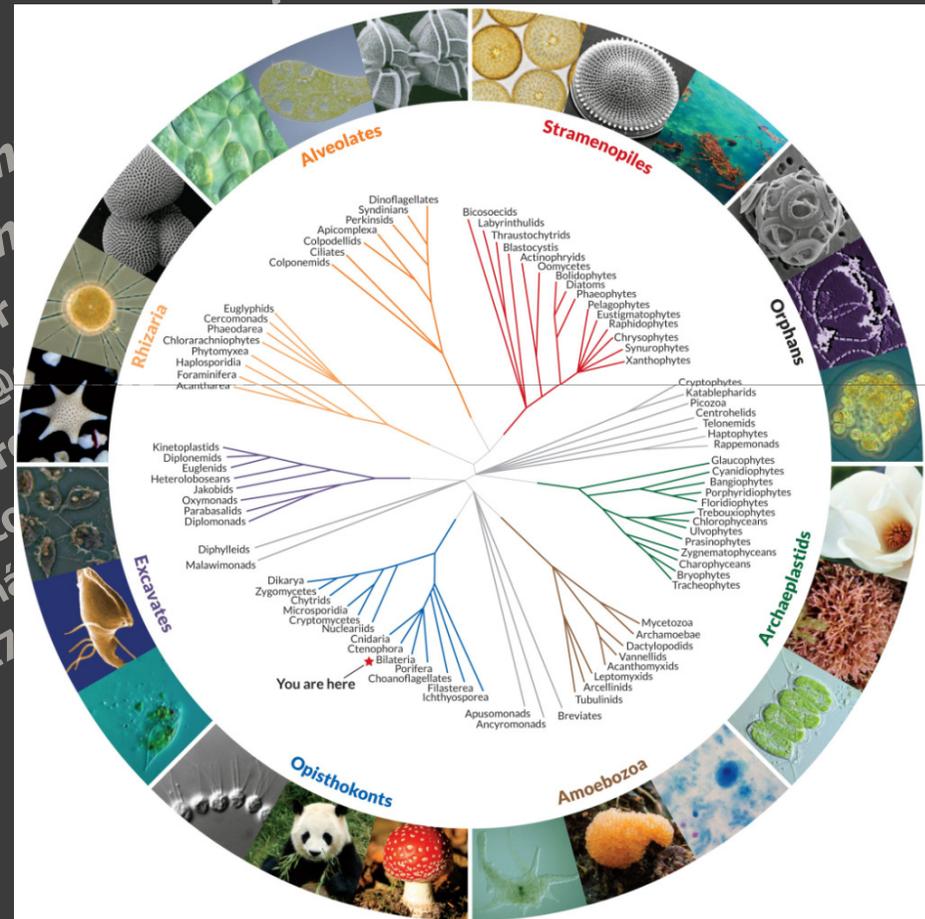
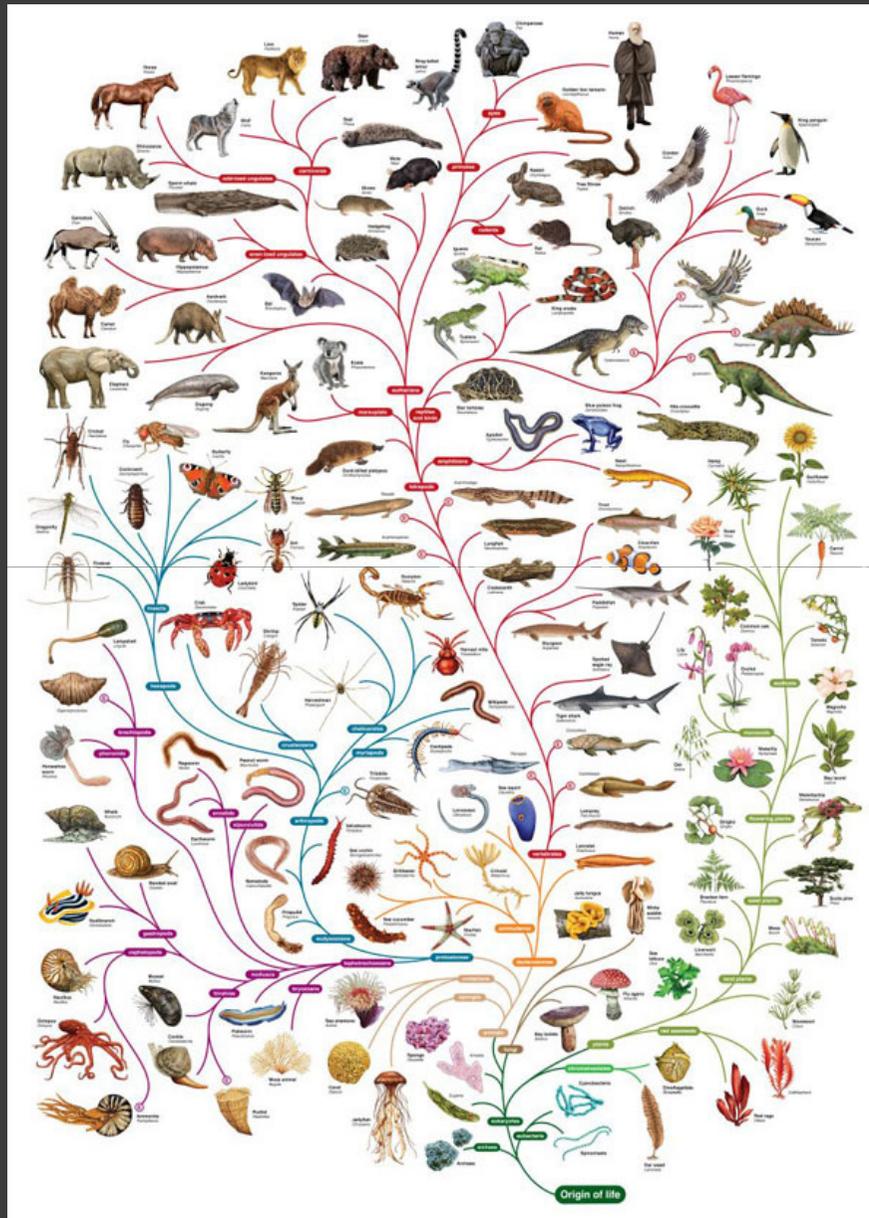
*... a partir da onde eu falo?*

- graduação em Ciências Biológicas - Unesp/Botucatu
- mestrado, doutorado e pós-doutorado em Geografia - Unicamp
- especialização em Jornalismo Científico - Unicamp
- professor da FCH-UFPA de março/2013 a março/2017
- professor do Depto. de Hidrobiologia (DHb/CCBS-UFSCar desde março/2017)
- coordenador do "Laboratório de Estudos sobre Sistemas Complexos Ambientais" (LASCA)

*... sobre o que vou falar?*

- *O que caracteriza a vida e os seres vivos?*
- *O que são sistemas complexos e como estudá-los?*
- *Cerrado: um sistema complexo ambiental*

→ O que caracteriza a vida e os seres vivos?



Fonte: <https://netnature.wordpress.com/2016/06/08/a-arvore-da-vida-recebe-uma-reforma/>

Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/563442603353785817/>

## → O que caracteriza a vida e os seres vivos?

### A árvore universal da vida

Atrás de sua enorme diversidade de formas, cores e tamanhos, os organismos atuais mostram características muito similares que servem de parâmetros importantes para entender sua origem. Por exemplo, a água é a substância (molécula) mais abundante da matéria viva: 70% do corpo humano, 95% da alface, 75% de uma bactéria. Todos os seres têm uma alta porcentagem de água, o que favorece a hipótese de uma origem em meio aquoso. Sua composição atômica também é admiravelmente simples. Apenas quatro elementos químicos – carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (CHON) – somam 99,9% da matéria viva. Eles estão entre os cinco mais abundantes do Universo, só deixando de fora o hélio, que não faz ligações químicas. A bioquímica da vida é composta por combinações desses átomos, formando água (H<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), açúcares, proteínas, ácidos graxos e outros. Mesmo que muitas proteínas tenham elementos metálicos e requeiram certos íons para funcionar, os elementos mais abundantes são, de longe, os mencionados anteriormente. O fato de que a vida se compõe dos átomos mais amplamente encontrados na natureza indica que ela é simplesmente uma expressão da oportunidade e não uma excepcionalidade, um milagre, que poderia ser feito com materiais arbitrários, inclusive raros.

Embora bactérias, baleias, palmeiras e elefantes sejam tão diferentes entre si na forma, eles são extremamente parecidos na química. As moléculas simples se combinam formando moléculas maiores – os monômeros,<sup>2</sup> como os nucleotídeos e os aminoácidos. Os nucleotídeos e aminoácidos usados pelos seres vivos são em pequeno número e praticamente os mesmos. A junção desses monômeros em grandes cadeias forma os biopolímeros: os ácidos nucléicos (RNA e DNA) e as proteínas. São eles que estão por trás da diversidade biológica que observamos. Nos seres vivos atuais, o DNA carrega o código de montagem das proteínas que são responsáveis pelas mais diversas funções. Além da composição material, o sistema de processamento de energia (metabolismo) também é muito parecida em todos os organismos vivos, ocorrendo por um pequeno número de processos intimamente relacionados.

**Então podemos entender a vida e os seres vivos analisando isoladamente cada um desses componentes?**



www.scielo.br/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=50103-40142007000100022

articles search

toc | previous | next | author | subject | form | home | all

**Estudos Avançados**  
Print version ISSN 0103-4014 On-line version ISSN 1806-9592  
Estud. av. vol.21 no.59 São Paulo Jan./Apr. 2007  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142007000100022>

**ORIGEM DA VIDA II**

**Origens da vida**

Augusto Damineli; Daniel Santa Cruz Damineli

→ *O que caracteriza a vida e os seres vivos?*

- individualidade → diferenciação do meio e interdependência
- 'nadam contra a corrente' (entropia/'morte térmica') → estruturas dissipativas
- autopoiese/autocriação/auto-organização → fonte espontânea de originalidade/genuinidade/criatividade/novidade
- redes de interações, propriedades emergentes e organização holárquica → relações intra e entre escalas/níveis de organização
- evolução → variabilidade/adaptação/seleção
- seres vivos são sistemas adaptativos complexos

"Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos:  
dos imãs e vidros de spin ao Cerrado"  
Prof. Dr. Paulo César de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)  
Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)  
Seminário - PPGC  
UFSCar, 27 de outubro/2017

→ *O que caracteriza a vida e os seres vivos?*

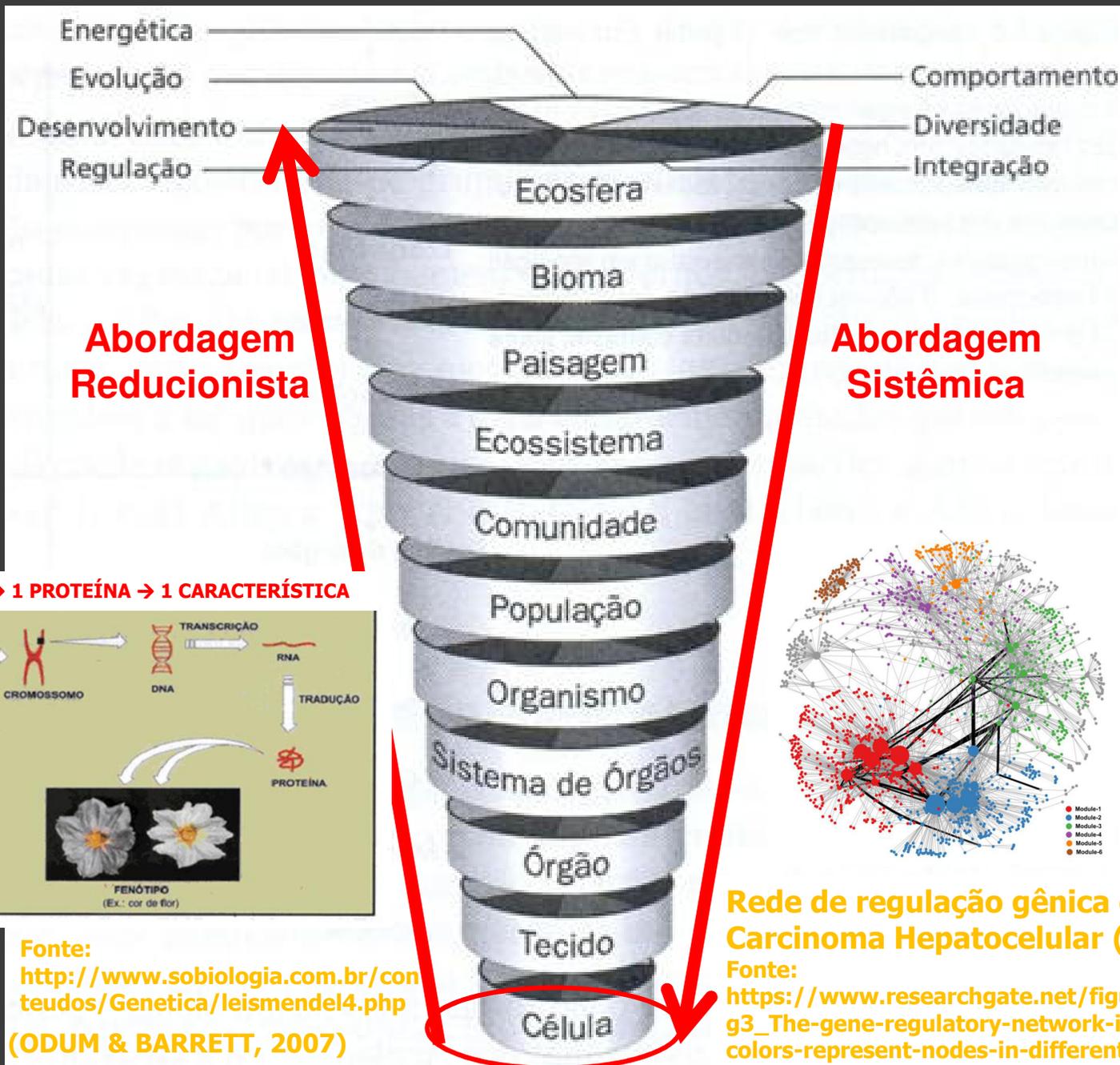
→ Algumas características dos sistemas complexos:

- redes de relações entre seus elementos
- auto-organização
- o todo é diferente da soma das partes → propriedades emergentes
- multicausalidade
- não-linearidade
- mecanismos de retro-alimentação ('feed-back')
- organização holárquica

*Como estudá-los, então?*

Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos:  
do imã e vidros de spin ao Cerrado  
Prof. Dr. Paulo César de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)  
Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)  
seminário - PPGQ  
UFSCar, 27 e 28 outubro/2017

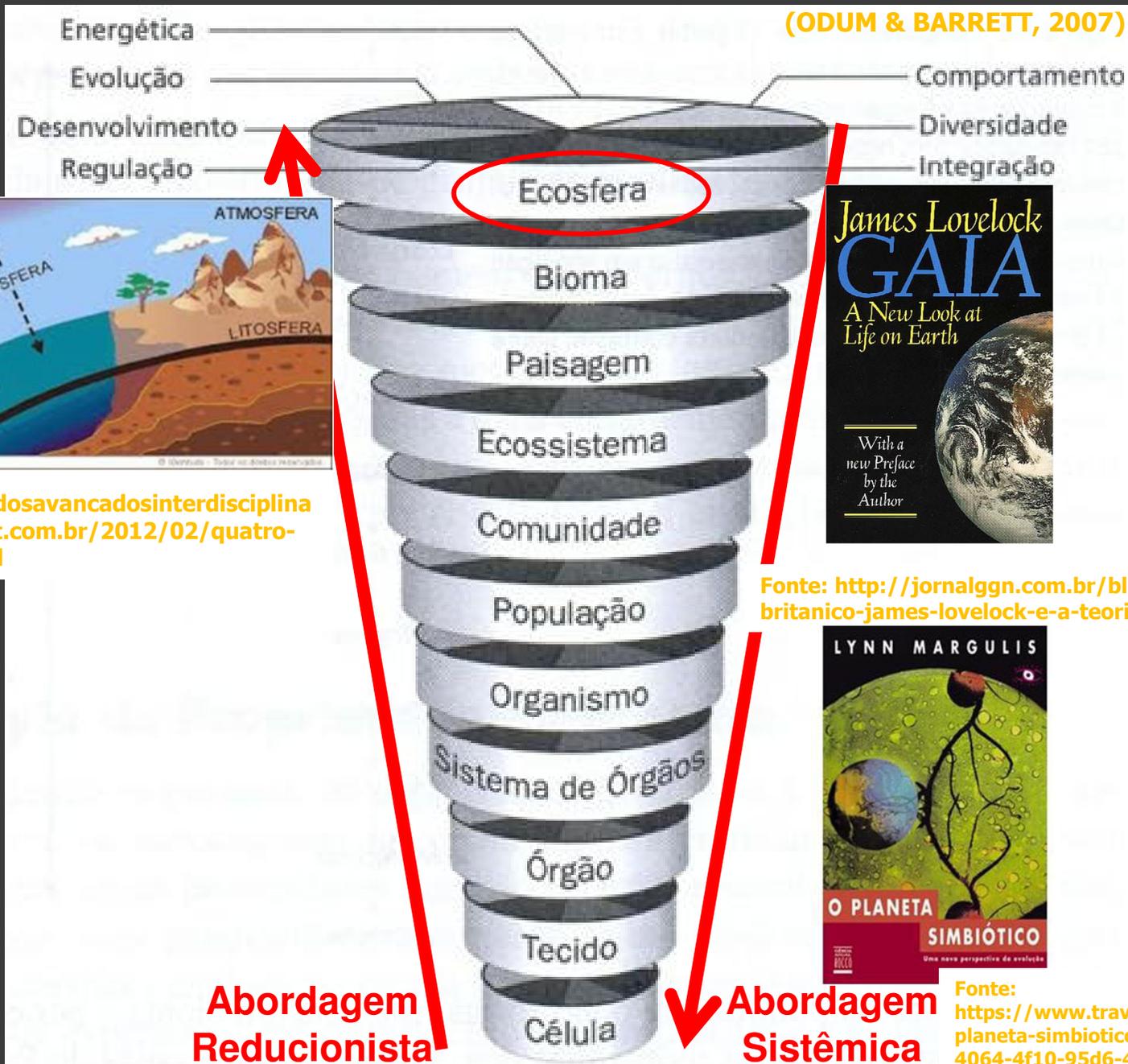
## → Como estudar sistemas complexos?



## → Como estudar sistemas complexos?



## → Como estudar sistemas complexos?



## → Como estudar sistemas complexos?

- Desmontar e Remontar ("Dividir/separar para entender?") → paradigma reducionista/mecanicista/determinista se mostrou insuficiente para compreender a vida, os seres vivos e outros tipos de sistemas

### → Paradigma da Complexidade!

- origem: confluência de ideias e teorias de várias áreas de conhecimento → todas lidando com sistemas de comportamento complexo, não-lineares e afastados do equilíbrio termodinâmico

- para tentar explicar e prever o comportamento dos seus sistemas de interesse → incorporação de conceitos e metodologias de outras áreas

- êxito alcançado → permitiu o estabelecimento de princípios básicos sobre a organização e o funcionamento dos sistemas complexos, sejam eles sistemas físicos, biológicos ou sociais

→ *Como estudar sistemas complexos?*

→ **Paradigma da Complexidade:**

- **O que uma bactéria e uma grande corporação têm em comum?**



THE SCIENCES OF COMPLEXITY AND "ORIGINS OF ORDER"

(In Press, Philosophy of Science 1991)

Stuart A. Kauffman

#### INTRODUCTION

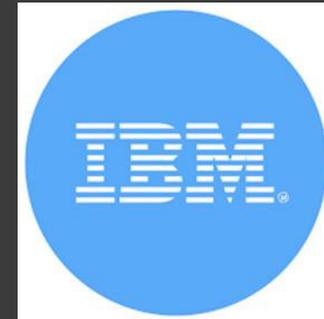
A new science, the science of complexity, is birthing. This science boldly promises to transform the biological and social sciences in the forthcoming century. My own

A summary of my own evolving intent is this: In a deep sense, E. coli and IBM know their respective worlds in the same way. Indeed, E. coli and IBM have each participated in the coevolution of entities which interact with and know one another. The laws which govern the emergence of knower and known, which govern the boundedly rational, optimally complex biological and social actors which have co-formed, lie at the core of the science of complexity. This new body of thought implies that the poised coherence, precarious, subject to avalanches of change, of our biological and social world is inevitable. Such systems, poised on the edge of chaos, are the natural talismen of adaptive order.

→ *Como estudar sistemas complexos?*

→ **Paradigma da Complexidade:**

- **O que uma bactéria e uma grande corporação têm em comum?**



<https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikinomics>

*Wikinomics* é um neologismo criado por Don Tapscott e Anthony D. Williams, que deu origem ao livro **Wikinomics: How Mass Collaboration Changes Everything**, publicado em 2006 nos EUA, lançado no Brasil em 2007 e em Portugal em 2008.

Para cunhar o termo *Wikinomics*, os autores basearam-se na ferramenta *wiki*, que, segundo eles, "mais que um programa que permite que múltiplas pessoas editem sites, é uma metáfora para uma nova era de colaboração e participação".

**Abordagem** [ [editar](#) | [editar código-fonte](#) ]

Na obra, discute-se como a lógica de produção colaborativa de conteúdos está impactando a economia e o funcionamento de empresas de diferentes setores. Segundo os autores do livro, a partilha de informações dará às empresas que se abrirem para o novo paradigma de produção vantagens em relação aos seus concorrentes. A Economia é vista como um meio de colaboração dos atores sociais, baseados em códigos abertos.

*Wikinomics* é entendido como oportunidade de interagir com profissionais qualificados e geograficamente distantes a um custo reduzido, contando com a diversidade das contribuições para ser a alavanca do processo de inovação dentro da empresa e entre as empresas.

O livro descreve muitos casos de sucesso no uso da colaboração em massa, por exemplo, o 'Linux' e o 'Apache' que são utilizados na maioria dos servidores web em todo mundo. O livro mostra que o conceito do Opensource (código aberto) para a área de desenvolvimento de software é perfeito, pois milhares de programadores em todo o mundo conseguem resolver bugs com maior rapidez do que por exemplo todo um departamento informático de uma empresa.

Um dos casos mais interessantes é o da **IBM** que investiu na comunidade **Linux** e que colhe hoje excelentes resultados desta mudança cultural.

## → Como estudar sistemas complexos?

- O que uma bactéria e uma grande corporação têm em comum?



“Organização hierárquica [holárquica] de colônias. Padrões de colônias gerados pela bactéria *Paenibacillus vortex* quando exposta a diferentes condições de crescimento. As figuras (a-d) mostram uma colônia inteira. As placas de Petri têm 8,8cm de diâmetro.

A população bacteriana destas colônias é maior do que a população humana mundial, ainda que elas coordenam seus comportamentos. (...) O vórtice varia de tamanho desde dez até milhões de bactérias, de acordo com sua localização na colônia.”

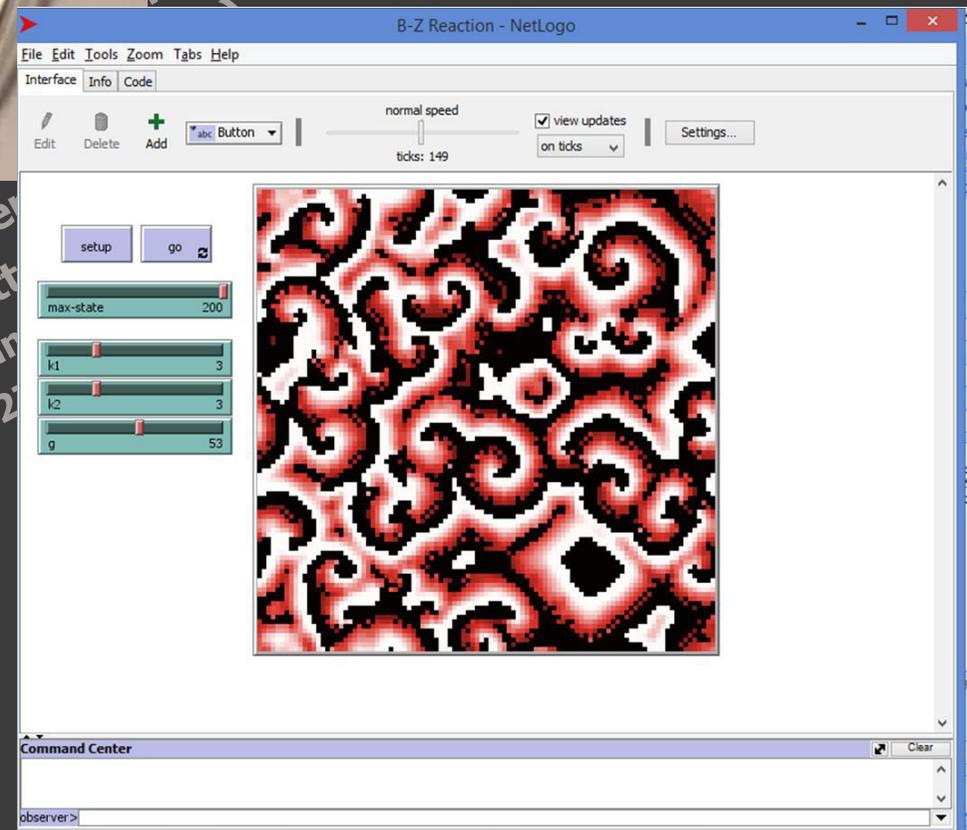
(Ben-Jacob E , Levine H J. R. Soc. Interface 2006;3:197-214)

→ **Como estudar sistemas complexos?**  
- **“Apenas sistemas biológicos são complexos?”**



Complexos:  
"trado"  
camargo

dos  
Prof. Dr. (camargofis)  
Prof. Dr. Sérgio (sergiomatt)  
Seminar  
UFSCar, 20



→ **Como estudar sistemas complexos?**  
- **"Apenas sistemas biológicos são complexos?"**

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS QUÍMICOS OSCILANTES

QUÍMICA NOVA, 18(3) (1995)

Roberto de Barros Faria

Departamento de Química Inorgânica - Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

The oscillating chemical reactions area is introduced from a historical point of view. The most important and very well known systems are presented, including a brief mathematical overview of the bistability, multistability and oscillating phenomena.

O campo das reações oscilantes nasceu quando Boris Pavlovich Belousov, em 1951, observou pela primeira vez o fenômeno oscilatório numa mistura reacional contendo bromato de potássio, sulfato cérico, ácido cítrico e ácido sulfúrico<sup>1,2,3</sup>. Devido às dificuldades que teve para publicar suas observações, somente em 1958 é que apareceu uma pequena comunicação de seu achado<sup>4</sup>. Apesar de Belousov não ter alcançado de imediato a devida notoriedade pela publicação dos seus resultados, a sua fórmula para a demonstração do fenômeno oscilante percorria a Rússia (0,2 g de  $\text{KBrO}_3$ , 0,16 g de  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ , 2g de ácido cítrico, 2ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3 e água suficiente para completar 10mL). E foi dessa maneira que essa receita de Belousov chegou ao conhecimento de Anatol M. Zhabotinsky ao final de 1961 quando seu orientador, S. E. Schnoll, lhe sugeriu o estudo do fenômeno oscilatório produzido pela formulação acima, de autoria desconhecida para eles naquele momento.

→ *Como estudar sistemas complexos?*

- "Apenas sistemas biológicos são complexos?"

Roberto de Barros Faria

Departamento de Química Inorgânica - Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

As primeiras publicações de Zhabotinsky<sup>5,6</sup>, aparecidas em 1964 ainda em russo, consistiam em um aprofundamento no estudo desse sistema químico. Zhabotinsky substituiu o ácido cítrico pelo ácido malônico, investigou o efeito da adição dos íons  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Ag}^+$  e  $\text{Ce}^{3+}$  e propôs as bases mecanísticas que explicavam as oscilações observadas. Ele, assim, estabelecia o que já havia sido previsto anteriormente por Lotka<sup>7,8</sup>, através de um estudo teórico, ou seja, a obrigatoriedade de qualquer mecanismo que se proponha a explicar os fenômenos oscilatórios incluir autocatálise. (Na verdade, conforme descrito por Field e Noyes<sup>9</sup>, não é necessária exatamente uma autocatálise mas sim que pelo menos uma das etapas do mecanismo da reação envolva algum tipo de retroalimentação de tal forma que a concentração de um dos produtos de uma etapa tenha efeito sobre a sua velocidade). Como consequência disso, denomina-se hoje em dia de reação oscilante Belousov-Zhabotinsky, BZ, aos sistemas químicos oscilantes baseados na oxidação de um substrato orgânico (geralmente ácido malônico) por bromato em meio ácido e catalisado por um metal, geralmente cério, manganês ou ferro, este último complexado com fenantrolina.

→ **Como estudar sistemas complexos?**  
- **"Apenas sistemas biológicos são complexos?"**

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS QUÍMICOS OSCILANTES

QUÍMICA NOVA, 18(3) (1995)

Roberto de Barros Faria

Departamento de Química Inorgânica - Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

**A MULTIESTABILIDADE DOS SISTEMAS AUTOCATALÍTICOS**

Fenômenos como as reações relógio e as reações oscilantes são chamados coletivamente de fenômenos não lineares. Na base desses fenômenos não lineares encontramos sempre a presença de um processo autocatalítico. Seguindo a nomenclatura

Constata-se assim que, se o sistema estiver no estado estacionário designado por *c* na Fig. 3, qualquer perturbação que o sistema sofra tal que  $[A]$  seja aumentada por uma quantidade mínima ( $\zeta$  terá um valor um pouco menor que o do ponto *c*),  $v$  será maior do que  $L$ , ou seja, o consumo de  $A$  pela reação, Eq. (14), será maior do que a quantidade de reagente que é introduzida no reator, acarretando uma redução de  $[A]$  (aumento de  $\zeta$ ), até que o valor do ponto *c* seja novamente atingido. O inverso ocorreria se o sistema sofresse uma pequena perturbação tal que  $[A]$  fosse diminuída (aumento de  $\zeta$ ), levando a que o influxo de  $A$  passasse a ser maior do que o seu consumo pela reação química. Isso acarreta que  $[A]$  irá aumentar até atingir o valor do ponto *c* novamente. Significa dizer que *c* é um ponto estável para esse sistema, ou seja, um estado estacionário.

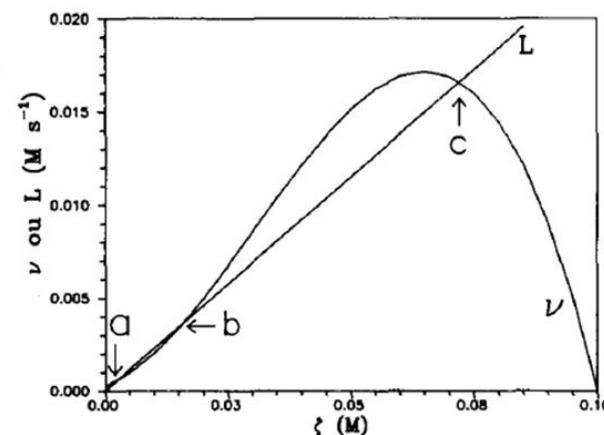


Figura 3. Estabilidade dos estados estacionários para autocatálise cúbica em RAFC.  $k = 100 \text{ s}^{-1}$ ;  $[A]_0 = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $[B]_0 = 0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $k_o = 0,23 \text{ s}^{-1}$ .

→ *Como estudar sistemas complexos?*

- *“Apenas sistemas biológicos são complexos?”*

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS QUÍMICOS OSCILANTES

QUÍMICA NOVA, 18(3) (1995)

Roberto de Barros Faria

Departamento de Química Inorgânica - Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Em relação à descoberta de novos sistemas oscilantes, temos observado muitos progressos e, apesar do grande número de sistemas oscilantes até agora descobertos, ainda estamos muito longe de montarmos em laboratório sistemas oscilantes “biológicos”, ou seja, utilizando apenas compostos presentes em organismos vivos. Certamente essa é uma das surpresas que o futuro nos trará.

Para finalizar, o próprio fato de se aceitar a possibilidade de se construir em laboratório um sistema químico oscilante, já se constitui numa tentativa de redefinir ou tornar mais clara a definição de vida. Podemos comparar um reator de fluxo, ao qual alimentamos continuamente compostos oxidantes e redutores e retiramos continuamente parte do meio reacional exausto, a um animal, que respira oxigênio e ingere proteínas e hidratos de carbono. Só não se encaixa ainda nesse consenso a suposição de como poderíamos estabelecer o processo de automultiplicação.

## → Como estudar sistemas complexos?

### → Paradigma da Complexidade:

teorias e modelos ligados ao paradigma da complexidade que contribuíram de maneira mais significativa no desenvolvimento dos estudos de sistemas complexos:

- Teoria dos Sistemas Gerais
- Teoria da Informação
- Cibernética
- Teoria das Estruturas Dissipativas
- Teoria da Hierarquia
- Teoria da Percolação
- Criticalidade Auto-Organizada
- Teoria do Caos
- Teoria da Catástrofe
- Geometria Fractal

*Inteligência Coletiva & Sistemas Complexos:  
dos ímãs e vidros de spin ao Cerrado"  
Prof. Dr. Paulo César de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)  
Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)  
Seminário - PPGQ  
UFSCar, 27 de outubro/2017*

→ **Como estudar sistemas complexos?**

- entender conceitos fundamentais: organização, estabilidade, perturbação, transição, ...

- modelar comportamento: várias abordagens

- Ex: Cerrado

**"Nem tudo o que é torto é errado. Veja as pernas do Garrincha e as árvores do cerrado." (Nicolas Behr)**



Fonte: <http://www.casadaptada.com.br>



Fonte: <http://amoragaia.blogspot.com.br/>

→ **Assim como Garrincha, o Cerrado dá 'dribles' nos pesquisadores**

→ **Como estudar sistemas complexos?**

- **entender conceitos fundamentais: organização, estabilidade, perturbação, transição, ...**

- **modelar comportamento: várias abordagens**

- **Ex: Cerrado**

**"O Cerrado é uma floresta de cabeça para baixo." (Carmo Bernardes)**



Fonte: <http://vibesdocerradovirtual.blogspot.com.br/>

→ **Para entender o Cerrado, temos que "inverter" nossa perspectiva**

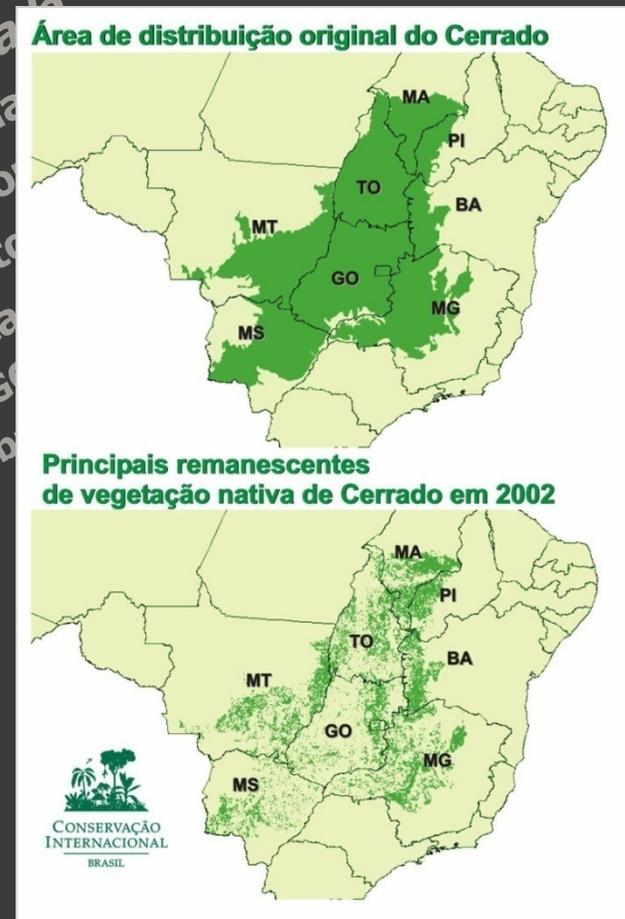
→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado:**

- área de ocorrência natural de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>
- equivalente a cerca de 25% do território brasileiro



**Figura : Distribuição do Cerrado no Brasil (em cinza)**  
(modificado de RIBEIRO & WALTER, 2008).

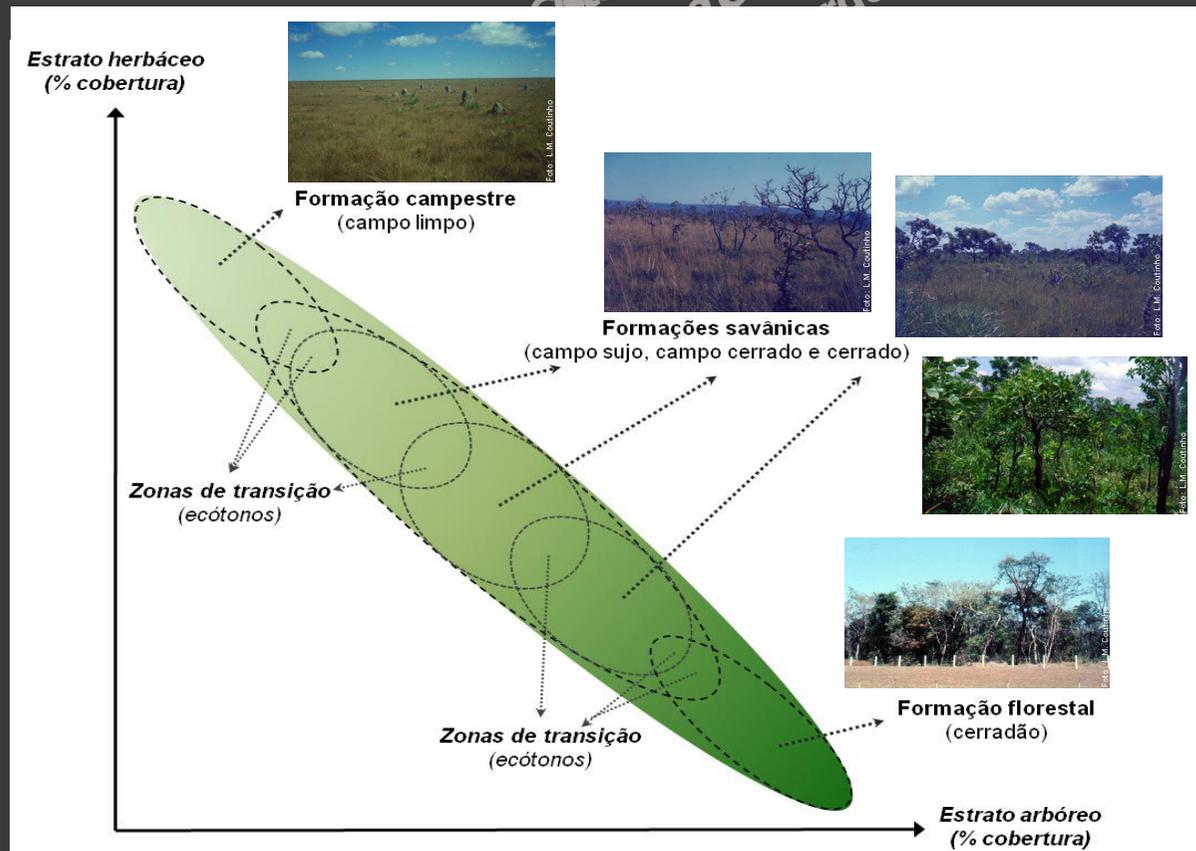


**Figura : <http://www.ispn.org.br/arquivos/mapa-desmatamento-cerrado.jpg>**

## → Cerrado: um sistema complexo ambiental

### Cerrado:

- mosaico de fitofisionomias
- diferenciadas pelos seus padrões espaciais → gradiente desde formação campestre (aberta) até florestal



Distribuição das fitofisionomias de Cerrado e zonas de transição de acordo com gradientes de cobertura vegetal. (Fotos: L.M.Coutinho)

**→ Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado:**

**- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?**

**- alumínio no solo?**

**- fogo?**

**- oscilações climáticas?**

**- nível do lençol freático?**

**- sucessão ecológica?**

**...**

**→ Visão tradicional sobre o Cerrado:**

**- busca por um fator único que explique a sucessão climática**

**→ perspectiva determinista/reducionista é inadequada para**

**entender o Cerrado que, assim como outros sistemas ecológicos/ambientais, é um sistema complexo**

*Inteligência Coletiva e Sistemas Complexos:  
dos Ilíades e vidões de spin ao Cerrado"  
Prof. Dr. Paulo Cesar de Camargo  
(camargofisico@gmail.com)  
Prof. Dr. Sérgio Mattos  
(sergiomattos@ufscar.br)  
Seminário - PPGQ  
UFSCar, 27 de outubro/2017*

→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado: 'desmatamento' X conservação**

epoca.globo.com/tudo-sobre/noticia/2017/05/desmatamento-do-cerrado.html

**ÉPOCA**

TEMPO IDEIAS VIDA COLUNAS CANAIS ASSINE

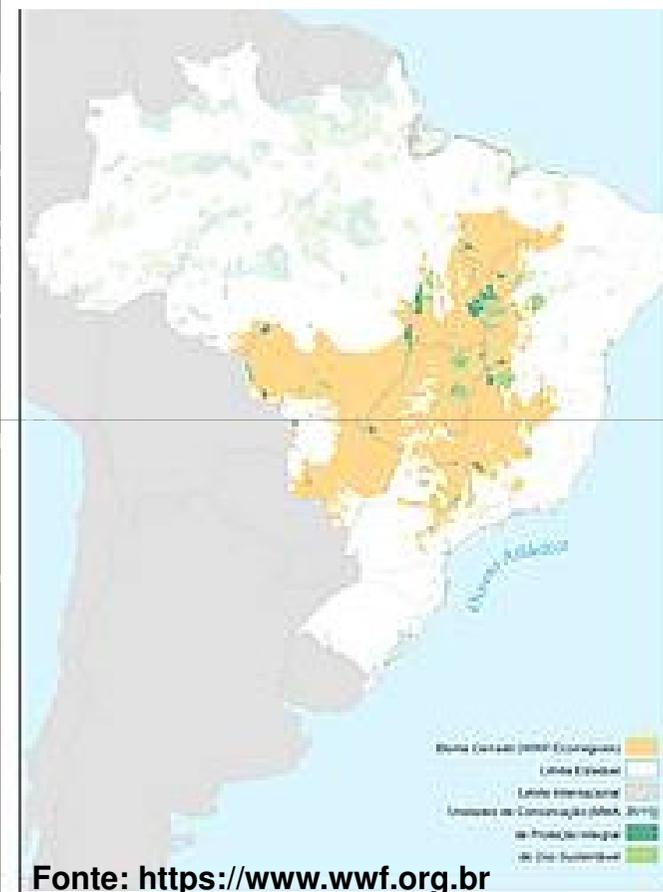
TUDO SOBRE

## Desmatamento do Cerrado

Em menos de 50 anos, quase 50% da vegetação original desapareceu. E 30% da área virou pasto. Isso ameaça sobretudo o ciclo de chuvas e o carregamento dos rios do país

**ALEXANDRE MANSUR**  
29/05/2017 - 09h07 - Atualizado 29/05/2017 17h38

**Unidades de conservação - Cerrado**



→ **Dilema de pesquisadores e gestores:**

**Como lidar com o fogo em unidades de conservação de Cerrado?**

→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

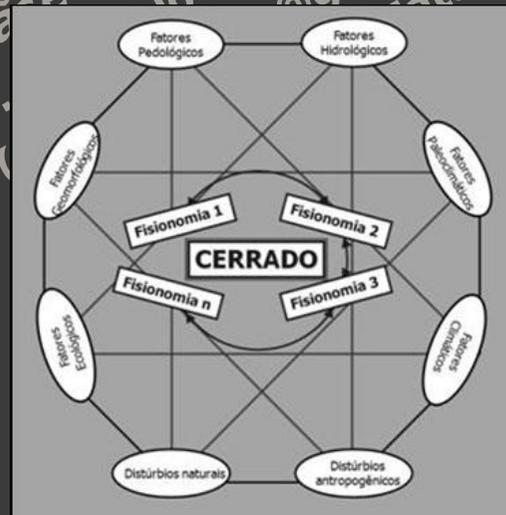
→ **Como estudar sistemas complexos?**

- entender conceitos fundamentais: organização, estabilidade, perturbação, transição, ...
- modelar comportamento: várias abordagens
- Ex: Cerrado

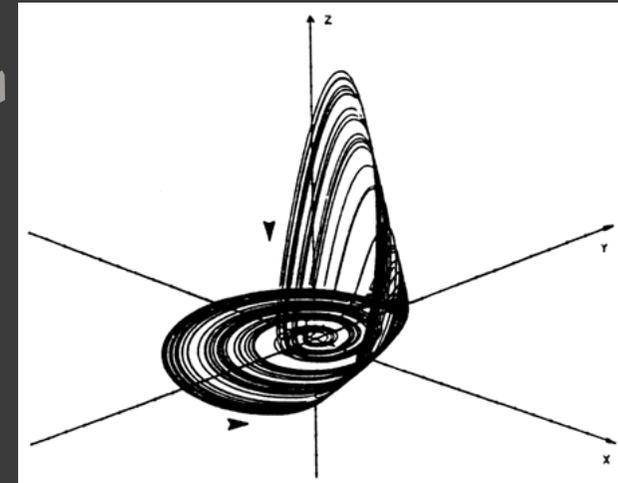
**Simulações Computacionais**



**Modelos Esquemáticos**



**Modelos Matemáticos**



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

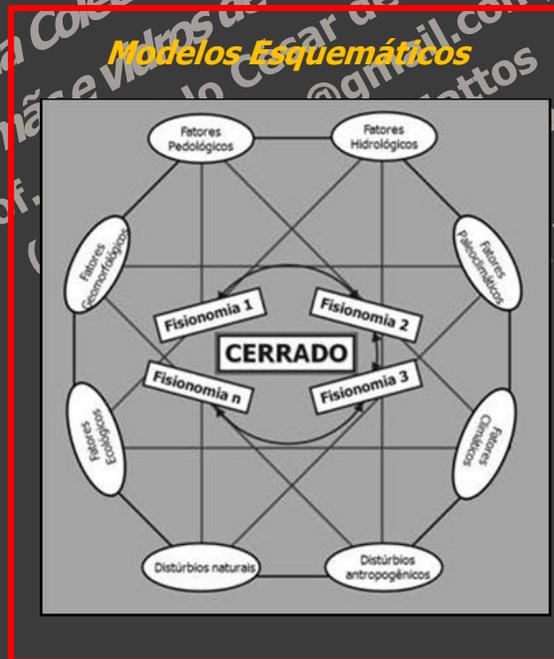
→ **Como estudar sistemas complexos?**

- **entender conceitos fundamentais: organização, estabilidade, perturbação, transição, ...**
- **modelar comportamento: várias abordagens**
- **Ex: Cerrado**

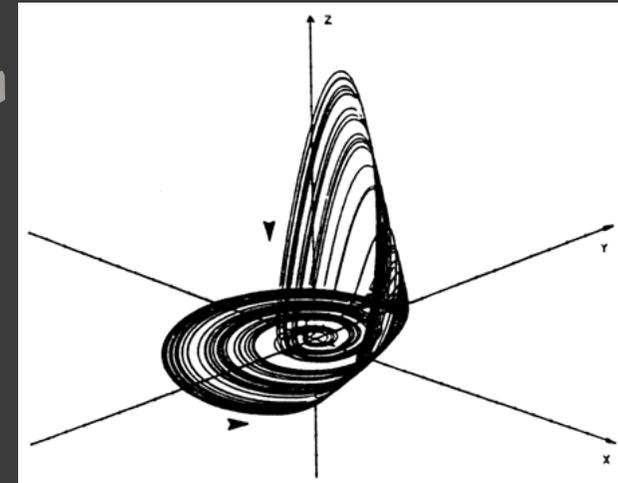
**Simulações Computacionais**



**Modelos Esquemáticos**



**Modelos Matemáticos**



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

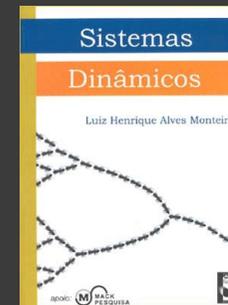
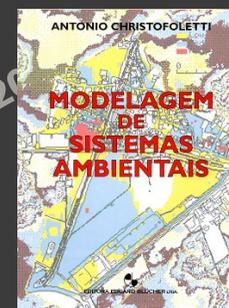
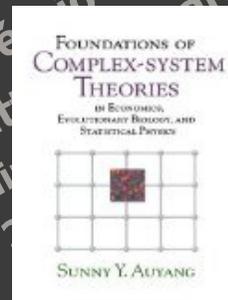
**Cerrado: uma nova perspectiva**

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

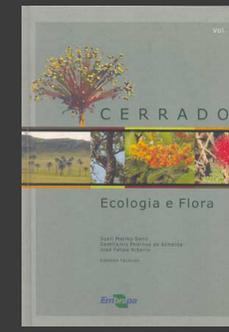
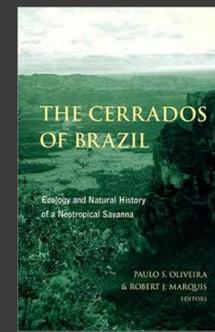
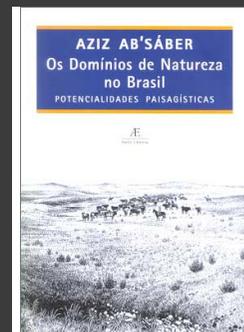
M436c Mattos, Sérgio Henrique Vannucchi Leme de.  
Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo / Sergio Henrique Vannucchi Leme de Mattos-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

→ **Pesquisas bibliográficas específicas sobre cada um dos focos:**

- **Complexidade:**



- **Cerrado:**



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado: uma nova perspectiva**

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

M436c Mattos, Sérgio Henrique Vannucchi Leme de.  
Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo / Sergio Henrique Vannucchi Leme de Mattos-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

→ **Coleta de dados em campo:**

- **vegetação**

- **solo**



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

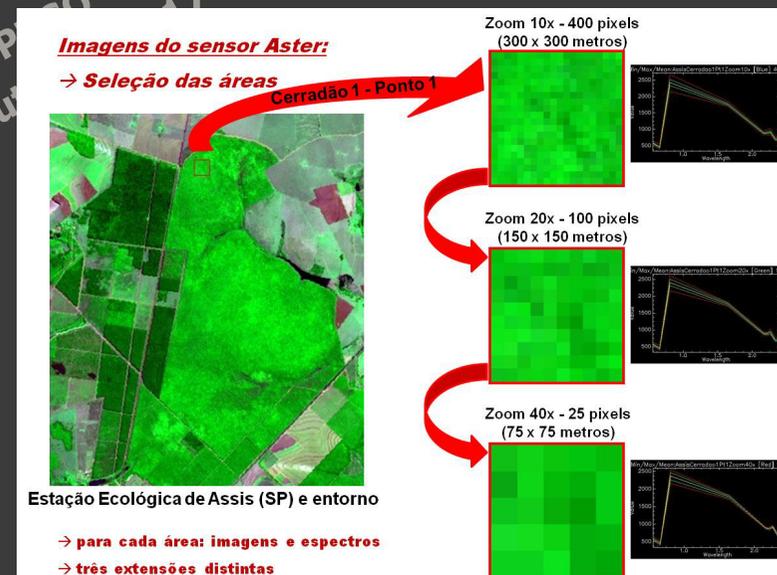
**Cerrado: uma nova perspectiva**

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

M436c Mattos, Sérgio Henrique Vannucchi Leme de.  
Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo / Sergio Henrique Vannucchi Leme de Mattos-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

→ **Avaliação da complexidade dos padrões texturais e espectrais:**

- medidas baseadas na entropia informacional ( $H_e/H_{max}$  e  $SDL$ )
- medidas baseadas na dimensão fractal



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado: uma nova perspectiva**

**- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?**



Anais da Academia Brasileira de Ciências (2016)  
(Annals of the Brazilian Academy of Sciences)  
Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690  
<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150747>  
[www.scielo.br/aabc](http://www.scielo.br/aabc)

**Contributions of the complexity paradigm to the understanding  
of Cerrado's organization and dynamics**

**SÉRGIO H.V.L. DE MATTOS<sup>1\*</sup>, LUIZ E. VICENTE<sup>2</sup>, ARCHIMEDES PEREZ FILHO<sup>3</sup> and JOSÉ R.C. PIQUEIRA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia  
Dourados Itahum, Km 12, 79804-970 Dourados, MS, Brazil

<sup>2</sup>Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, Km 127,5 13820-000 Jaguariúna, SP, Brazil

<sup>3</sup>Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Rua João  
Pandiá Calógeras, 51, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" 13083-870 Campinas, SP, Brazil

<sup>4</sup>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Avenida Prof. Luciano  
Gualberto, Travessa 3, 158, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil

→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado: uma nova perspectiva**

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

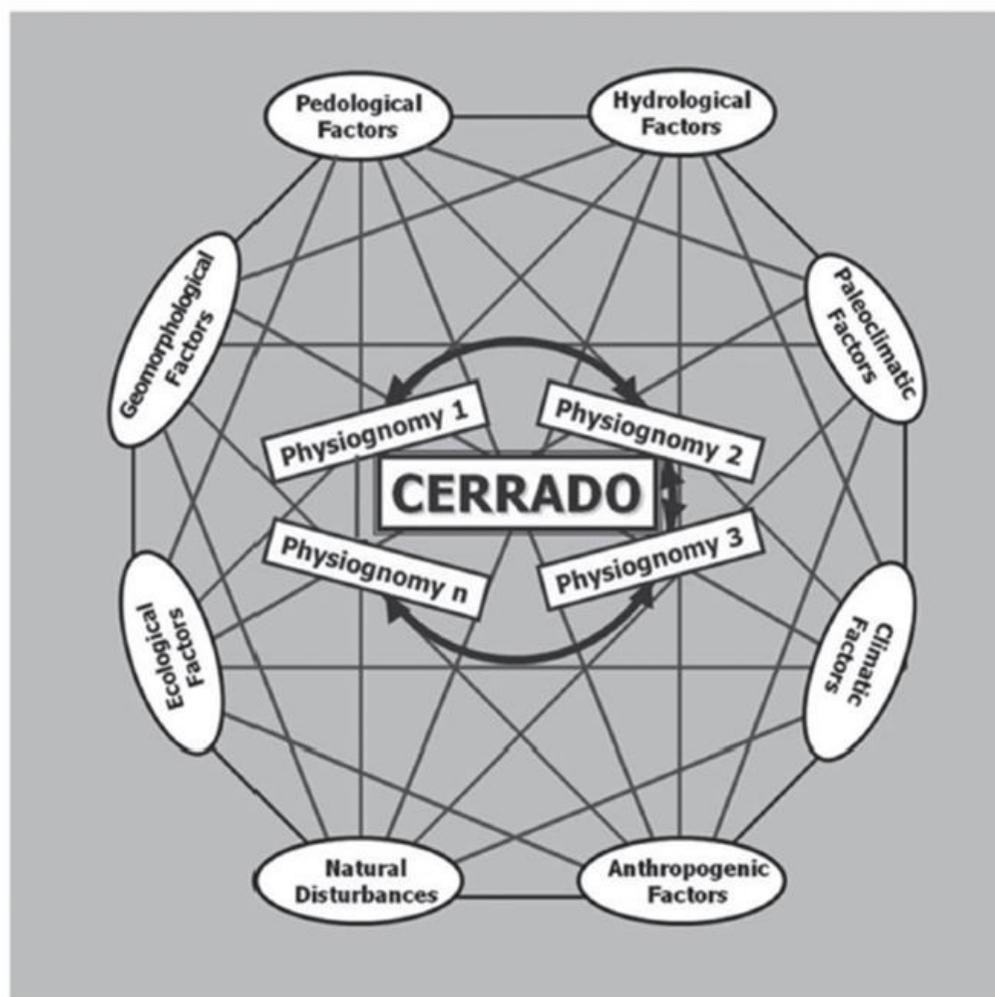


Figure 1 - Schematic representation of the inter-relations among types of factors acting on the configuration of different Cerrado physiognomies.

- multicausalidade
- não-linearidade
- mecanismos de retroalimentação
- dependência das escalas espacial e temporal X invariância escalar/ criticalidade auto-organizada



## → Cerrado: um sistema complexo ambiental

### Cerrado: uma nova perspectiva

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

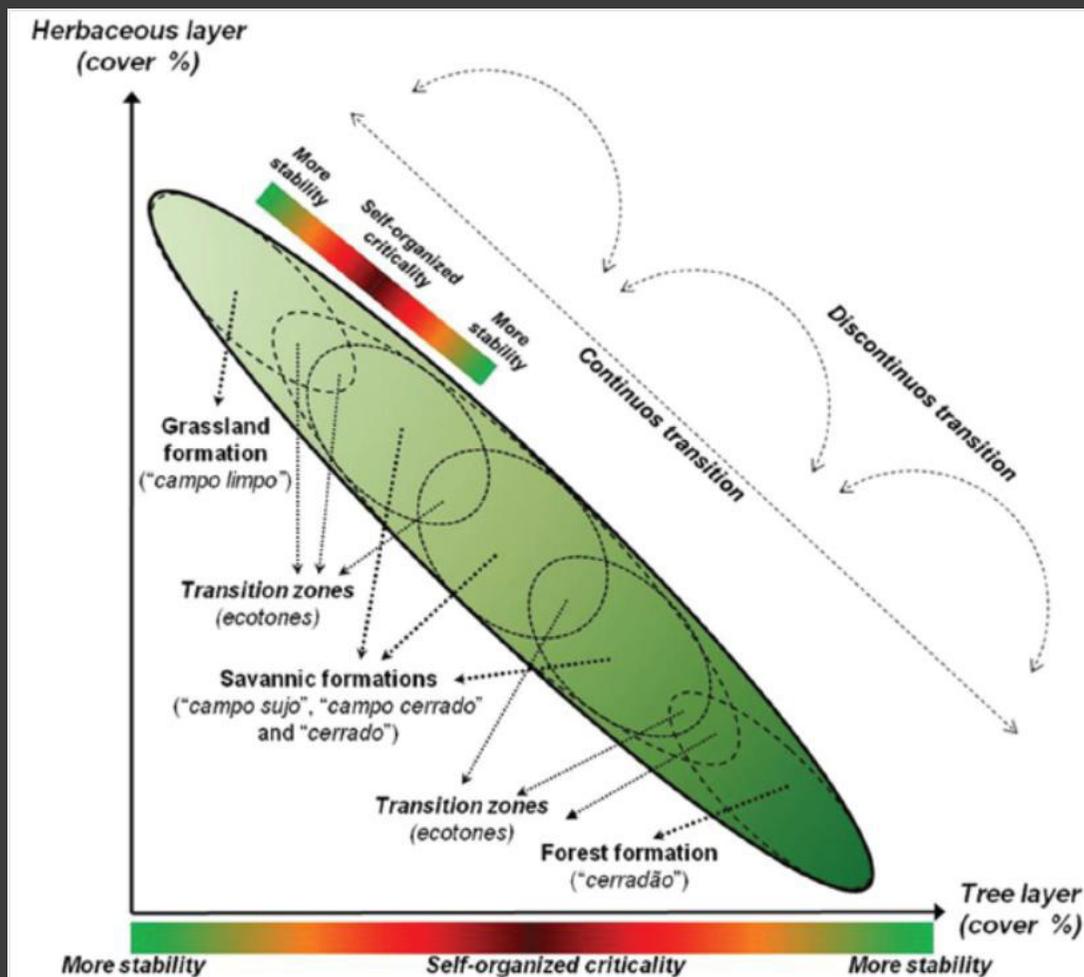


Figure 2 - Schematic representation of organization and dynamics of Cerrado.

fisionomias representam estados do sistema → algumas apresentam estabilidade local (atratores), enquanto outras representam estados de transição → sistema com multiestabilidade (em termos do comportamento dos pontos de equilíbrio e, conseqüentemente, das soluções frente às perturbações nas condições iniciais)



## → Cerrado: um sistema complexo ambiental

### Cerrado: uma nova perspectiva

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

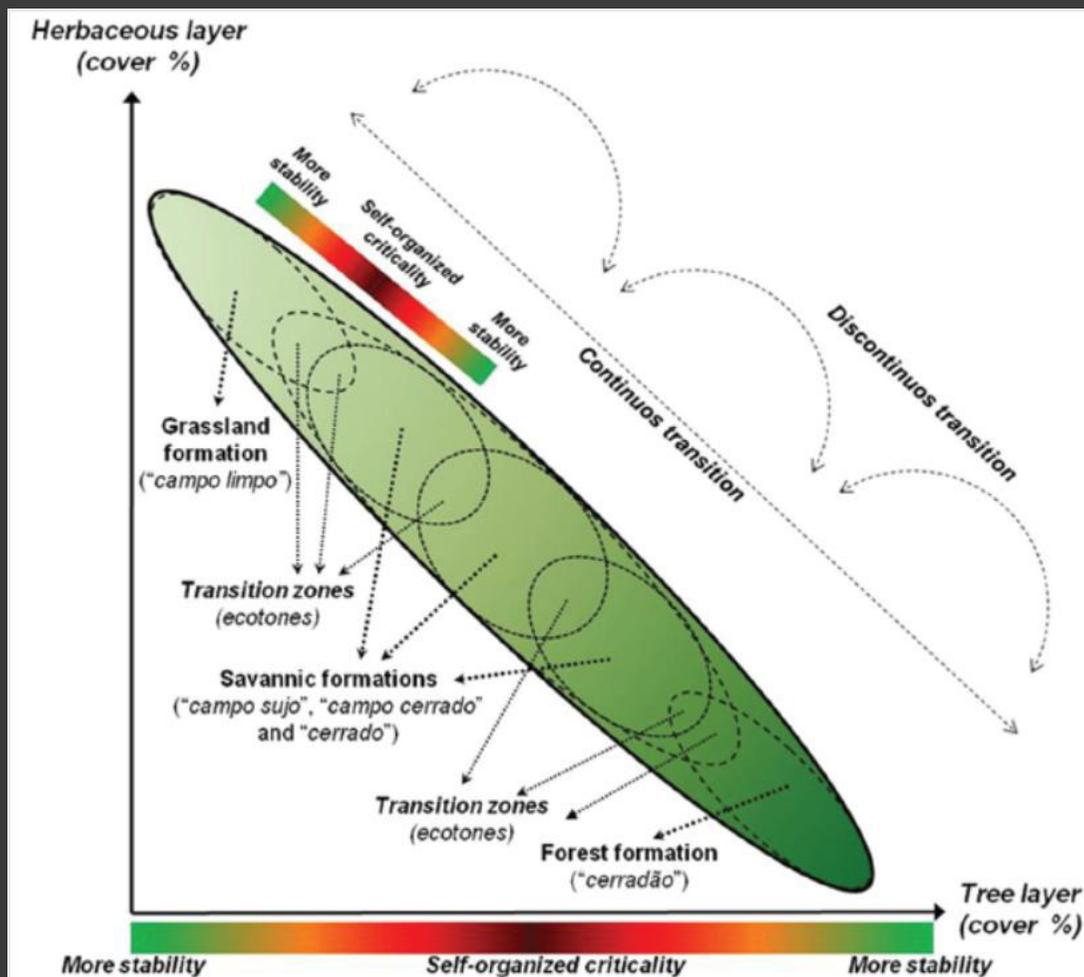


Figure 2 - Schematic representation of organization and dynamics of Cerrado.

algumas fisionomias podem apresentar criticidade auto-organizada → invariância escalar/processos multiescalares e sensibilidade a distúrbios de qualquer magnitude → perda da estabilidade estrutural do sistema (relacionada a perturbações nos valores de seus parâmetros) devido a atividades antrópicas → p.ex.: arenização e controle do fogo



→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

**Cerrado: uma nova perspectiva**

- Qual(is) fator(es) e/ou processo(s) são responsáveis pela dinâmica e organização espacial do Cerrado, em suas diferentes fisionomias?

**Cerrado: sistema oscilatório com multiestabilidade**

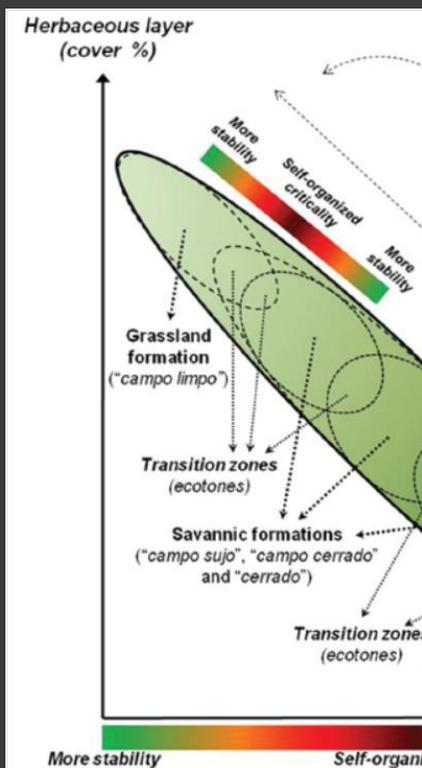
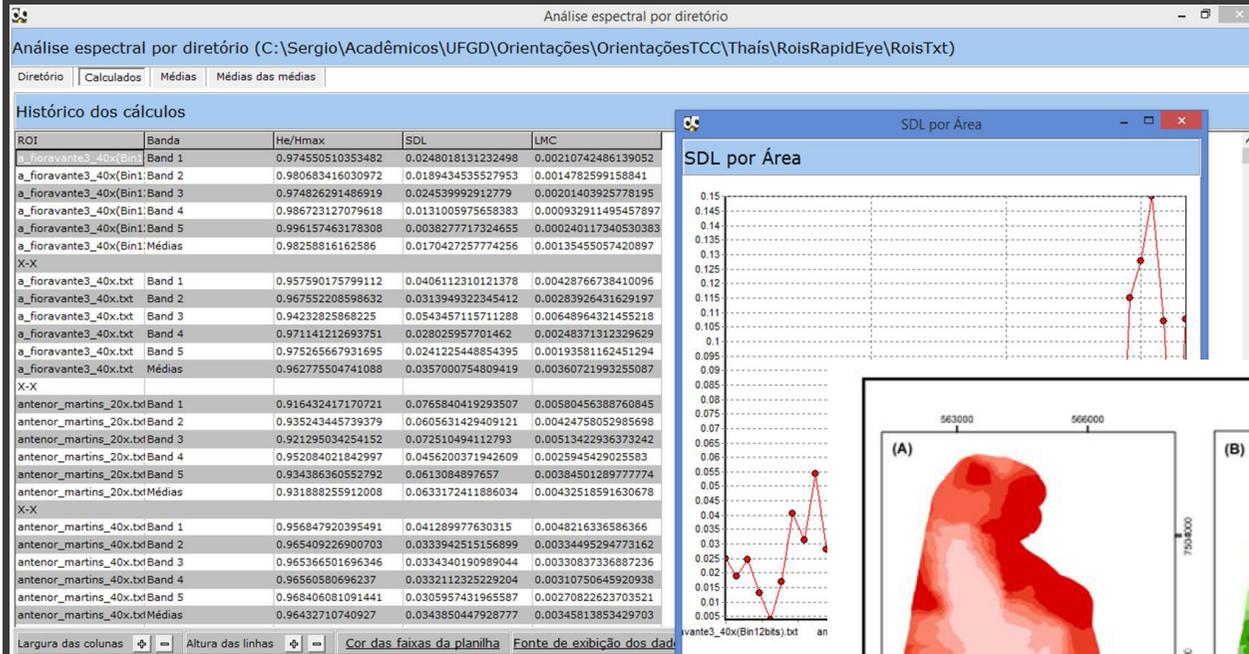


Figure 2 - Schematic representation of organ

Como se pode perceber, essas características do Cerrado reveladas pela presente pesquisa se contrapõem àquelas tradicionalmente aceitas para explicar sua distribuição espacial e sucessão ecológica. Ao invés de uma sucessão climática, o Cerrado se caracterizaria como um sistema complexo afastado do equilíbrio, em que estados mais estáveis seriam representados por fisionomias mais abertas (campo limpo e campo sujo, por exemplo) e mais fechadas (formações florestais, tais como: cerradão e mata seca), enquanto fisionomias intermediárias (incluindo diversas formações savânicas, como: cerrado denso, cerrado ss e campo cerrado) se auto-organizariam em estados críticos, afastados do equilíbrio e sujeitos a eventos de qualquer magnitude que podem levá-los a outro estado. E, por ser um sistema complexo, a configuração de cada estado seria condicionada por vários fatores inter-relacionados, alguns inclusive com atuação em diferentes escalas e responsáveis pela formação de padrões auto-similares que caracterizam as fisionomias do Cerrado.

# → Desdobramentos... - CompPlexus



## Mapas de Complexidade:

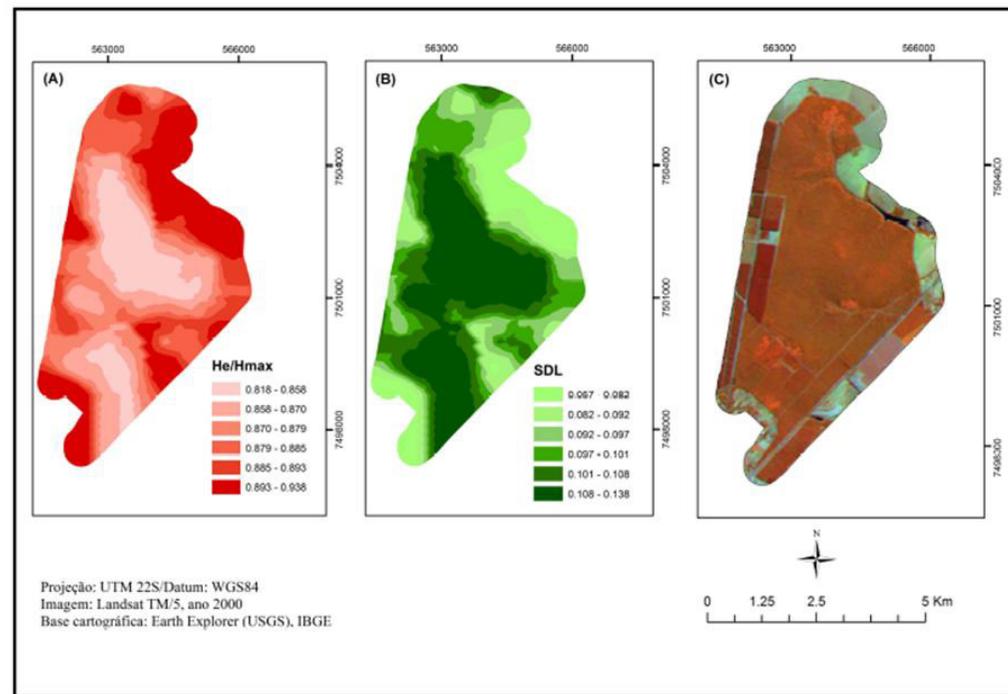


Figura 3: Mapas de linhas das complexidades He/Hmax (A), SDL (B) e a imagem original (C) em composição R(4) G(5) B(3).

→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

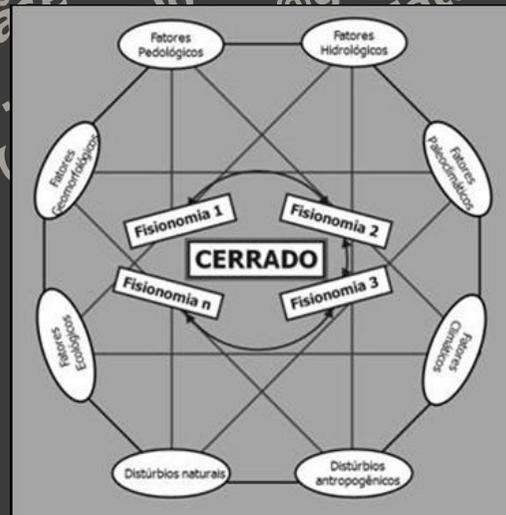
→ **Como estudar sistemas complexos?**

- entender conceitos fundamentais: organização, estabilidade, perturbação, transição, ...
- modelar comportamento: várias abordagens
- Ex: Cerrado

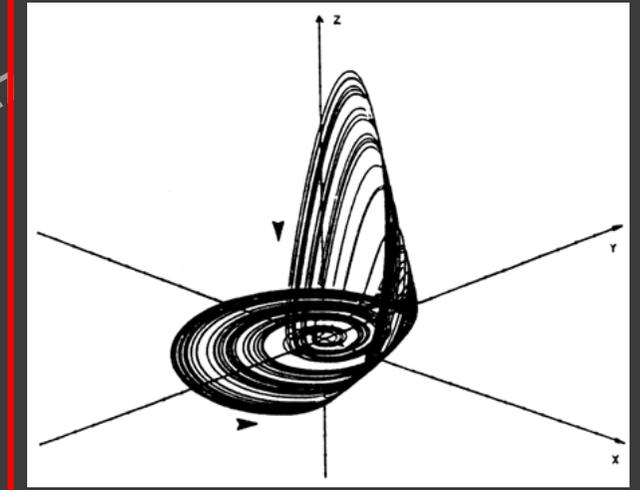
**Simulações Computacionais**



**Modelos Esquemáticos**



**Modelos Matemáticos**





# MODELAGEM DA DINÂMICA DE TRANSIÇÃO ENTRE FISIONOMIAS DO CERRADO

**SÉRGIO HENRIQUE VANNUCCHI LEME DE MATTOS**

(Professor Adjunto – FCH-UFGD, [sergiomattos@ufgd.edu.br](mailto:sergiomattos@ufgd.edu.br))

**ARCHIMEDES PEREZ FILHO**

(Professor Titular – IGe-Unicamp, [archi@ige.unicamp.br](mailto:archi@ige.unicamp.br))

**JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA**

(Professor Titular – Poli-USP, [piqueira@lac.usp.br](mailto:piqueira@lac.usp.br))

**RODRIGO CARARETO**

(Pesquisador – Poli-USP, [rodrigo.carareto@poli.usp.br](mailto:rodrigo.carareto@poli.usp.br))

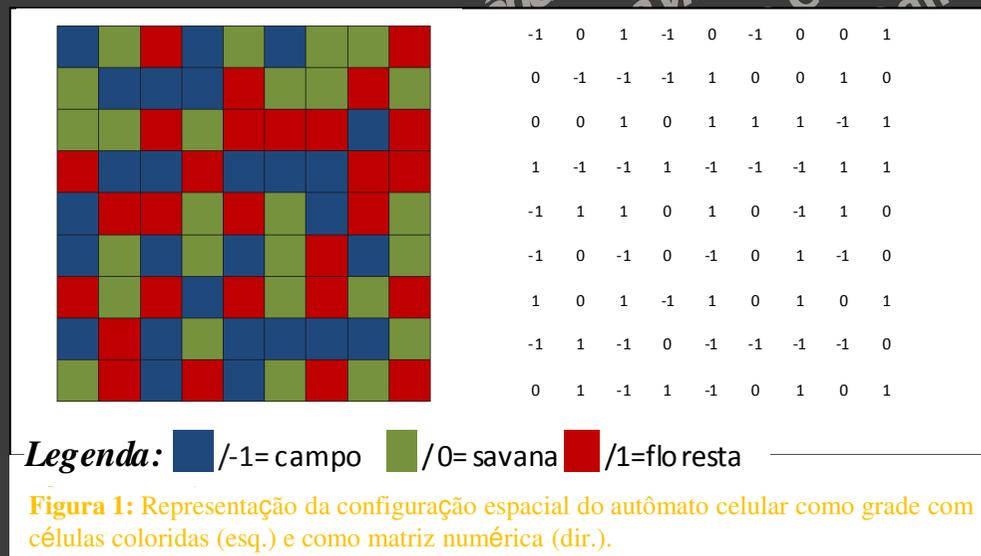
**DAVID GEOFFREY GREEN**

(Full Professor – Faculty of Information Technology – Monash University, [david.green@monash.edu](mailto:david.green@monash.edu))

(Processo Fapesp nº2012/04228-3 - Bolsa BEPE-Pós-Doutorado)

**OUTUBRO/2013**

- autômato celular: grade → representa a paisagem como um mosaico com várias células → estado da célula muda em função do estado de seus vizinhos e/ou de fatores ambientais



Estado da célula-alvo no tempo $t$	Regras de transição de estados (tempo $t$ para $t+1$ )	Estados das oito células vizinhas no tempo $t$	Estado da célula-alvo no tempo $t+1$
"campo"	- se 6 ou mais células vizinhas da célula-alvo no tempo $t$ forem "savana", célula-alvo mudará para o estado "savana" no tempo $t+1$ ; - caso contrário, permanecerá como "campo"	6 ou mais vizinhos são "savana"	"savana"
"savana"	- se 4 ou mais células vizinhas da célula-alvo no tempo $t$ forem "campo" ou "floresta", célula-alvo mudará para o estado "campo" ou "floresta" no tempo $t+1$ ; - caso contrário, permanecerá como "savana"	4 ou mais vizinhos são "campo"	"campo"
		4 ou mais vizinhos são "floresta"	"floresta"
		menos de 4 vizinhos são "campo" e menos de 4 vizinhos são "floresta"	"savana"
		4 vizinhos são "campo" e os outros 4 são "floresta"	50% de probabilidade de ser "campo" 50% de probabilidade de ser "floresta"

**- Avaliação e classificação da dinâmica do modelo:**

- análises das medidas de complexidade (= heterogeneidade) dos padrões e do comportamento do modelo → identificação de transições de fase do sistema (p.ex.: de estado desordenado para auto-organizado) e pontos críticos a elas associados**
- resultados gerados pelo modelo → confrontados com a hipótese feita por Mattos (2010) → certas fisionomias do Cerrado se organizam próximas a estados críticos que podem levar à transição de estado**

## Modelo determinístico sem simulação de distúrbio:

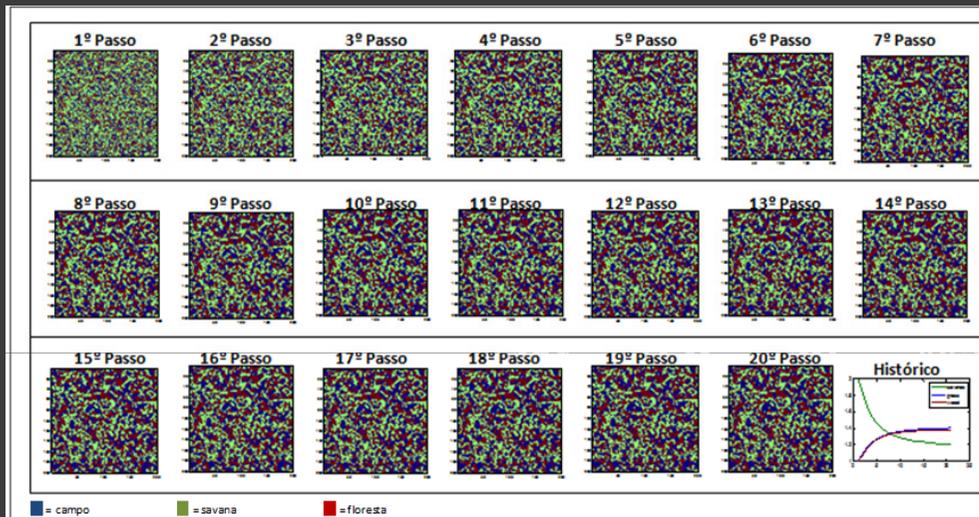
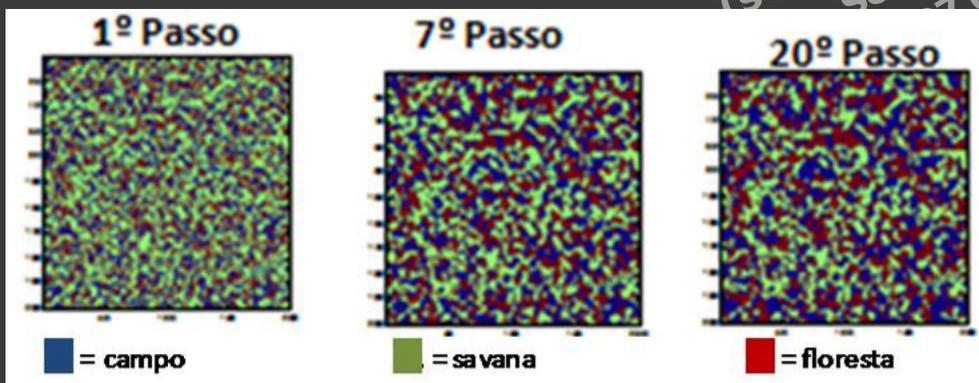
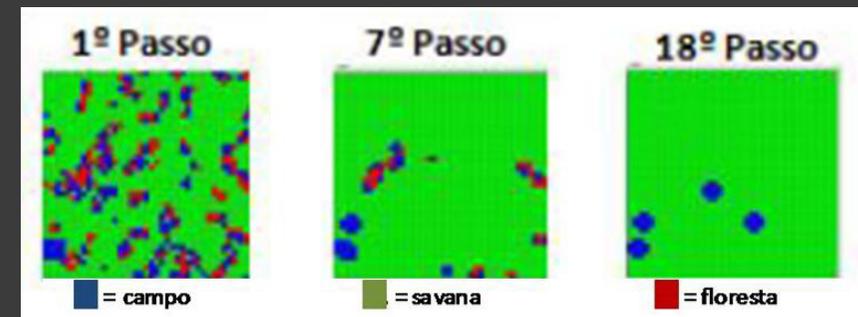
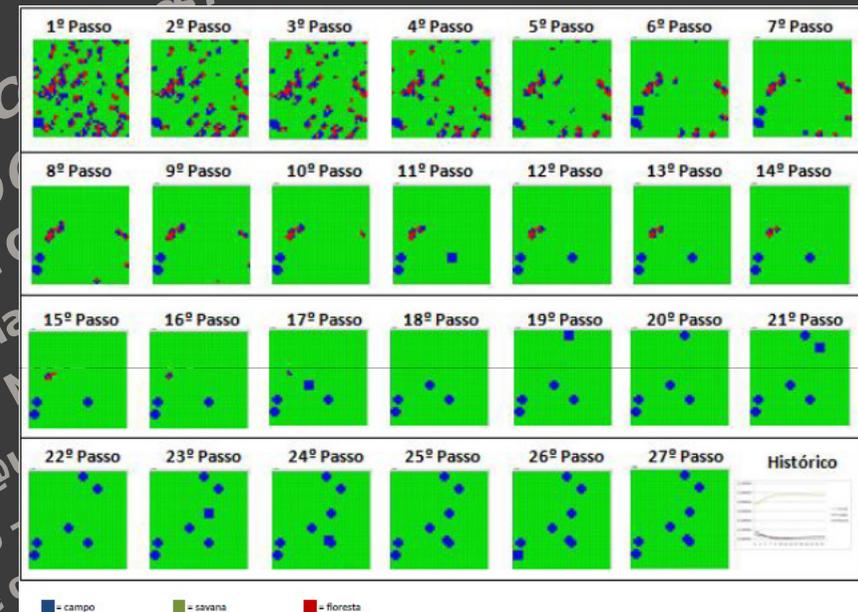


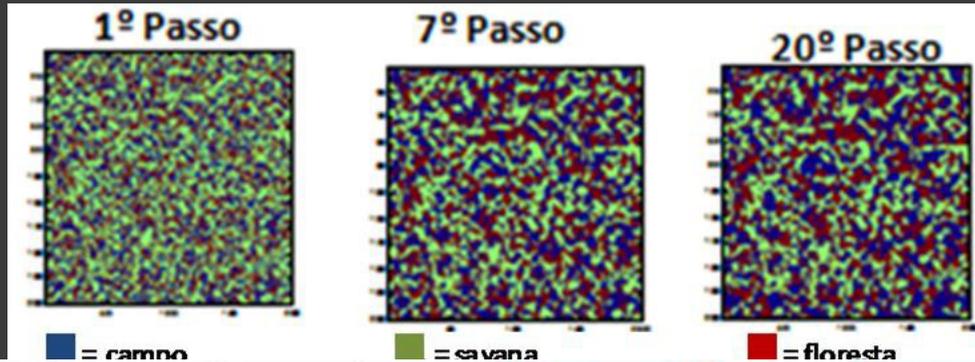
Figura 4: Padrão espacial de cada um dos 20 passos da dinâmica do modelo determinístico sem simulação de distúrbio.



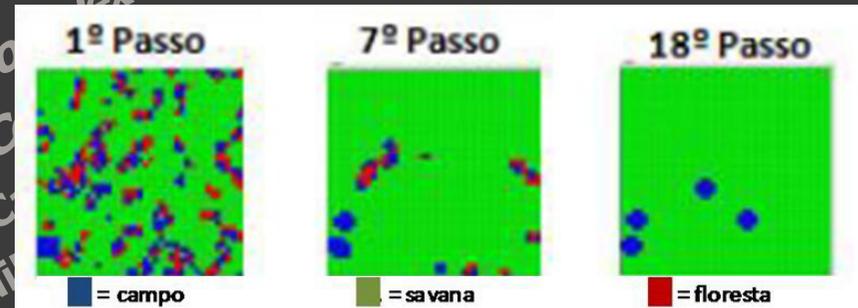
## Modelo determinístico com simulação de distúrbio:



**Modelo determinístico sem  
simulação de distúrbio:**



**Modelo determinístico com  
simulação de distúrbio:**



Passo	Savana		Campo		Floresta		Média		Desvio-padrão		Total	
	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL
0	0,31581	0,21607	0,31589	0,21610	0,31546	0,21595	0,31572	0,21604	0,0002262	0,000083	0,94716	0,64812
1	0,32565	0,21960	0,32255	0,21851	0,32173	0,21822	0,32331	0,21878	0,0020686	0,000729	0,96993	0,65633
2	0,33214	0,22182	0,32744	0,22022	0,32699	0,22007	0,32806	0,22070	0,0028537	0,000972	0,98657	0,66211
3	0,33444	0,22259	0,33011	0,22114	0,32983	0,22104	0,33146	0,22159	0,0025881	0,000868	0,99438	0,66477
4	0,33485	0,22273	0,33159	0,22164	0,33137	0,22156	0,33261	0,22198	0,0019503	0,000650	0,99782	0,66593
5	0,33453	0,22262	0,33247	0,22193	0,33230	0,22188	0,33310	0,22214	0,0012428	0,000414	0,99931	0,66643
6	0,33395	0,22243	0,33303	0,22212	0,33289	0,22207	0,33329	0,22221	0,0005785	0,000192	0,99987	0,66662
7	0,33332	0,22222	0,33342	0,22225	0,33326	0,22220	0,33333	0,22222	0,0000812	0,000027	1,00000	0,66667
8	0,33273	0,22202	0,33369	0,22234	0,33350	0,22228	0,33331	0,22221	0,0005095	0,000170	0,99992	0,66664
9	0,33214	0,22182	0,33391	0,22241	0,33368	0,22234	0,33324	0,22219	0,0009585	0,000320	0,99973	0,66658
10	0,33162	0,22165	0,33405	0,22246	0,33383	0,22239	0,33317	0,22217	0,0013465	0,000450	0,99950	0,66650
11	0,33122	0,22151	0,33415	0,22249	0,33392	0,22242	0,33310	0,22214	0,0016311	0,000546	0,99930	0,66643
12	0,33085	0,22139	0,33424	0,22252	0,33400	0,22244	0,33303	0,22212	0,0018878	0,000632	0,99909	0,66636
13	0,33055	0,22129	0,33430	0,22254	0,33405	0,22246	0,33297	0,22210	0,0020970	0,000703	0,99890	0,66629
14	0,33028	0,22120	0,33436	0,22256	0,33409	0,22247	0,33291	0,22208	0,0022816	0,000765	0,99873	0,66623
15	0,33003	0,22111	0,33441	0,22258	0,33413	0,22249	0,33286	0,22206	0,0024507	0,000822	0,99857	0,66618
16	0,32981	0,22103	0,33444	0,22259	0,33417	0,22250	0,33280	0,22204	0,0026006	0,000873	0,99841	0,66612
17	0,32960	0,22096	0,33447	0,22260	0,33420	0,22251	0,33276	0,22202	0,0027360	0,000919	0,99827	0,66607
18	0,32944	0,22091	0,33449	0,22261	0,33422	0,22252	0,33272	0,22201	0,0028415	0,000955	0,99816	0,66603
19	0,32930	0,22086	0,33452	0,22261	0,33424	0,22252	0,33268	0,22200	0,0029366	0,000987	0,99805	0,66600
20	0,32918	0,22082	0,33453	0,22262	0,33426	0,22253	0,33265	0,22200	0,0030152	0,001014	0,99795	0,66597

Legenda: ■ = menores valores ■ = maiores valores

Passo	Savana		Campo		Floresta		Média		Desvio-padrão		Total	
	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL	He/Hmax	SDL
0	0,16820	0,15278	0,24435	0,18464	0,21469	0,16800	0,21574	0,16800	0,0230901	0,0159318	0,64723	0,50602
1	0,18595	0,15200	0,26831	0,19632	0,17501	0,14430	0,21009	0,16420	0,0507683	0,0280452	0,63027	0,49270
2	0,14308	0,12261	0,20584	0,16347	0,17663	0,14620	0,17585	0,14420	0,0314720	0,0205410	0,52755	0,43260
3	0,13938	0,11995	0,20277	0,16160	0,17501	0,14430	0,17239	0,14200	0,0317779	0,0209535	0,51717	0,42599
4	0,10190	0,09152	0,16073	0,13490	0,14520	0,12430	0,13593	0,11680	0,0304887	0,0225873	0,40784	0,35053
5	0,07760	0,07158	0,13406	0,11609	0,14193	0,12110	0,11786	0,10330	0,0350879	0,0274885	0,35359	0,30945
6	0,06721	0,06270	0,13057	0,11352	0,09575	0,08650	0,09785	0,08760	0,0317322	0,0254296	0,29354	0,26281
7	0,05848	0,05062	0,11837	0,10052	0,07771	0,07160	0,08152	0,07420	0,0301288	0,0250520	0,24455	0,22280
8	0,04165	0,03992	0,09575	0,08659	0,06270	0,05870	0,06670	0,06170	0,0272725	0,0234775	0,20011	0,18527
9	0,04111	0,03942	0,09575	0,08659	0,06094	0,05720	0,06593	0,06100	0,0276629	0,0238178	0,19780	0,18323
10	0,02965	0,02877	0,07771	0,07167	0,04395	0,04200	0,05044	0,04760	0,0246777	0,0219667	0,15131	0,14246
11	0,03403	0,03287	0,03559	0,03433	0,09717	0,08770	0,05560	0,05160	0,0340125	0,0312608	0,16680	0,15493
12	0,03129	0,03031	0,08995	0,08186	0,03340	0,03220	0,05255	0,04830	0,0332746	0,0292077	0,15465	0,14446
13	0,03020	0,02928	0,08847	0,08064	0,03116	0,03020	0,04994	0,04670	0,0333691	0,0293937	0,14983	0,14032
14	0,02965	0,02877	0,08847	0,08064	0,02887	0,02800	0,04900	0,04560	0,0341877	0,0301631	0,14699	0,13745
15	0,02579	0,02512	0,08241	0,07562	0,02163	0,02110	0,04328	0,04000	0,0339521	0,0303596	0,12983	0,12190
16	0,02358	0,02302	0,08241	0,07562	0,01072	0,01000	0,03890	0,03640	0,0382228	0,0345141	0,11670	0,10924
17	0,03075	0,02980	0,10411	0,09327	0,00420	0,00400	0,04635	0,04240	0,0517495	0,0458641	0,13905	0,12725
18	0,02689	0,02617	0,09575	0,08659	0,00000	0,00000	0,04088	0,03750	0,0493861	0,0444070	0,12265	0,11278
19	0,03567	0,03440	0,11720	0,10345	0,00000	0,00000	0,05096	0,04590	0,0600754	0,0526902	0,15287	0,13788
20	0,03349	0,03236	0,11208	0,09951	0,00000	0,00000	0,04852	0,04430	0,0575308	0,0507607	0,14556	0,13188
21	0,04219	0,04041	0,1317	0,1144	0,00000	0,00000	0,05798	0,05160	0,0672748	0,0580079	0,17194	0,15480
22	0,04003	0,03842	0,127	0,1109	0,00000	0,00000	0,05568	0,04970	0,0649430	0,0563083	0,16705	0,14931
23	0,04866	0,04629	0,1361	0,1178	0,00000	0,00000	0,06267	0,05660	0,0690951	0,0593229	0,18500	0,16405
24	0,05080	0,04822	0,1495	0,1271	0,00000	0,00000	0,06676	0,05840	0,0780057	0,0641815	0,20028	0,17516
25	0,04920	0,04678	0,1461	0,1249	0,00000	0,00000	0,06516	0,05720	0,0744361	0,0610935	0,19548	0,17146
26	0,05134	0,04870	0,1505	0,1279	0,00000	0,00000	0,06729	0,05880	0,0765225	0,0645376	0,20187	0,17657
27	0,04920	0,04678	0,1463	0,1249	0,00000	0,00000	0,06516	0,05720	0,0744361	0,0610935	0,19548	0,17146

Legenda: ■ = menores valores ■ = maiores valores

→ **Aplicações possíveis a partir da modelagem da paisagem por autômatos celulares;**

- **novas perspectivas para interpretar a dinâmica e organização do Cerrado (e outros tipos de vegetação);**

- **servir como ferramenta auxiliar na tomada de decisões relativas ao manejo de áreas protegidas de Cerrado (p.ex.: fogo como instrumento de manejo); e**

- **simulação da dinâmica da vegetação em paisagens restauradas → tipos de célula representam diferentes tipos sucessionais (p.ex.: pioneiras, intermediárias e clímax), organizados segundo diferentes metodologias de plantio da vegetação e intensidade de distúrbios**

→ **Cerrado: um sistema complexo ambiental**

- **Cerrado da UFSCar: um laboratório ao ar livre para estudos de sistemas complexos ambientais**

