
Engenharia de Software

Desenvolvimento de Sistemas

Luís Morgado

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Departamento de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores

A Noção de Sistema

Sistema

Conjunto de partes interactuantes que formam um todo integrado destinado a realizar um determinado objectivo.

[Skyttner, 2001]

Conjunto interligado de elementos, coerentemente organizado de forma a concretizar um fim.

[Meadows, 2009]

Conjunto de partes inter-relacionadas de tal modo que o conjunto das partes e das suas inter-relações reduz a entropia local.

[Hitchins, 1992]

Desenvolvimento de Sistemas

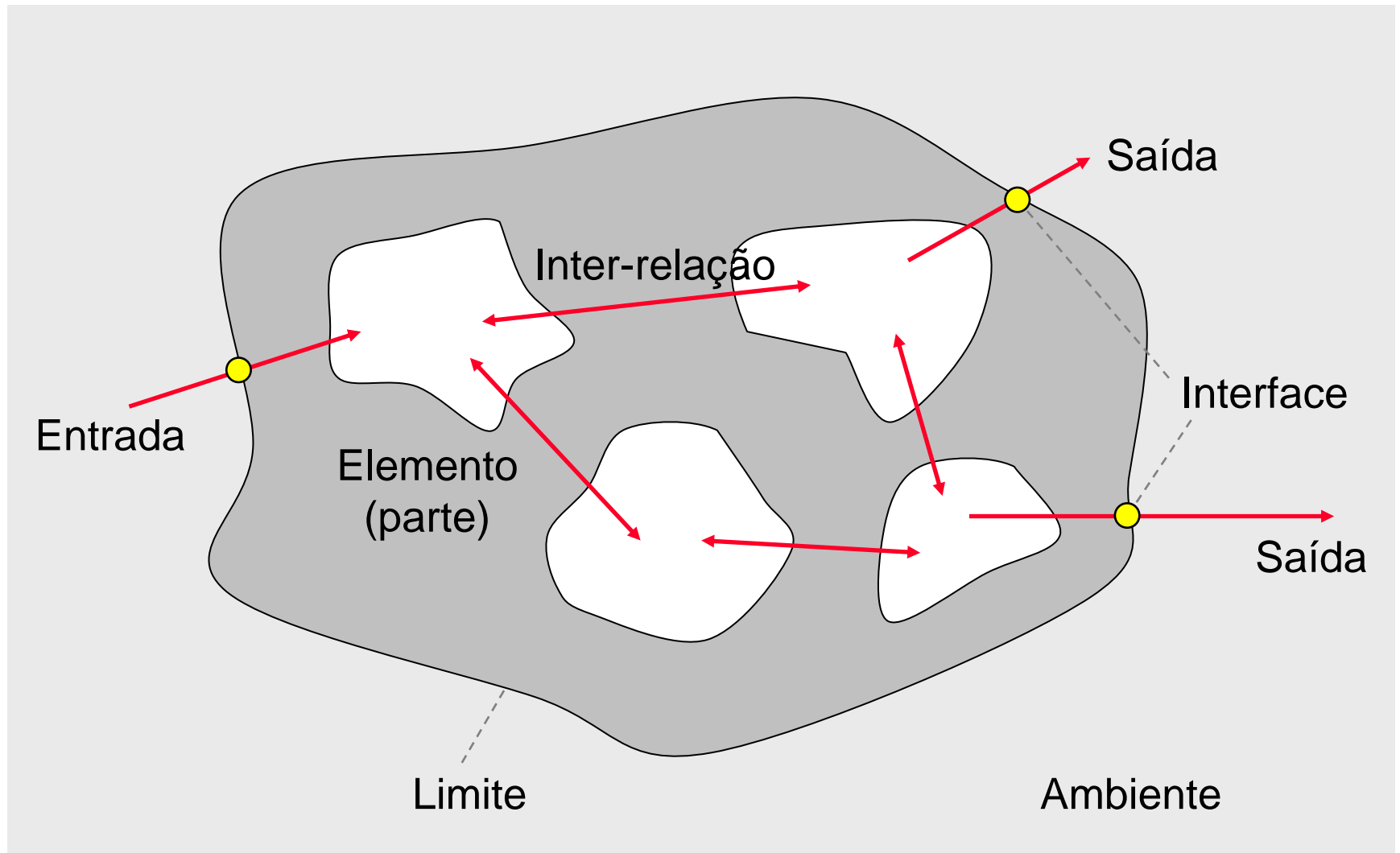
Sistema

- **Partes** (elementos)
- **Inter-relações** (relações)
- **Objectivo** (função)

**Um sistema é mais que um mero
agregado de partes!**

O todo é mais que a soma das partes

A Noção de Sistema



A Noção de Sistema

- **Inter-relação**

- Relações que mantêm os elementos de um sistema ligados entre si (relacionados)
- Físicas / Lógicas
- Operação comum através de fluxos de informação
 - A **informação** trocada é determinante para a manutenção do sistema como um **todo**, bem como para a sua **função**

A Noção de Sistema

- **Objectivo (função)**
 - Determinante para o comportamento do sistema
 - Explícito / Implícito
 - Expresso através do comportamento do sistema
 - Pode estar estruturado a diferentes níveis de organização
 - Sub-objectivos

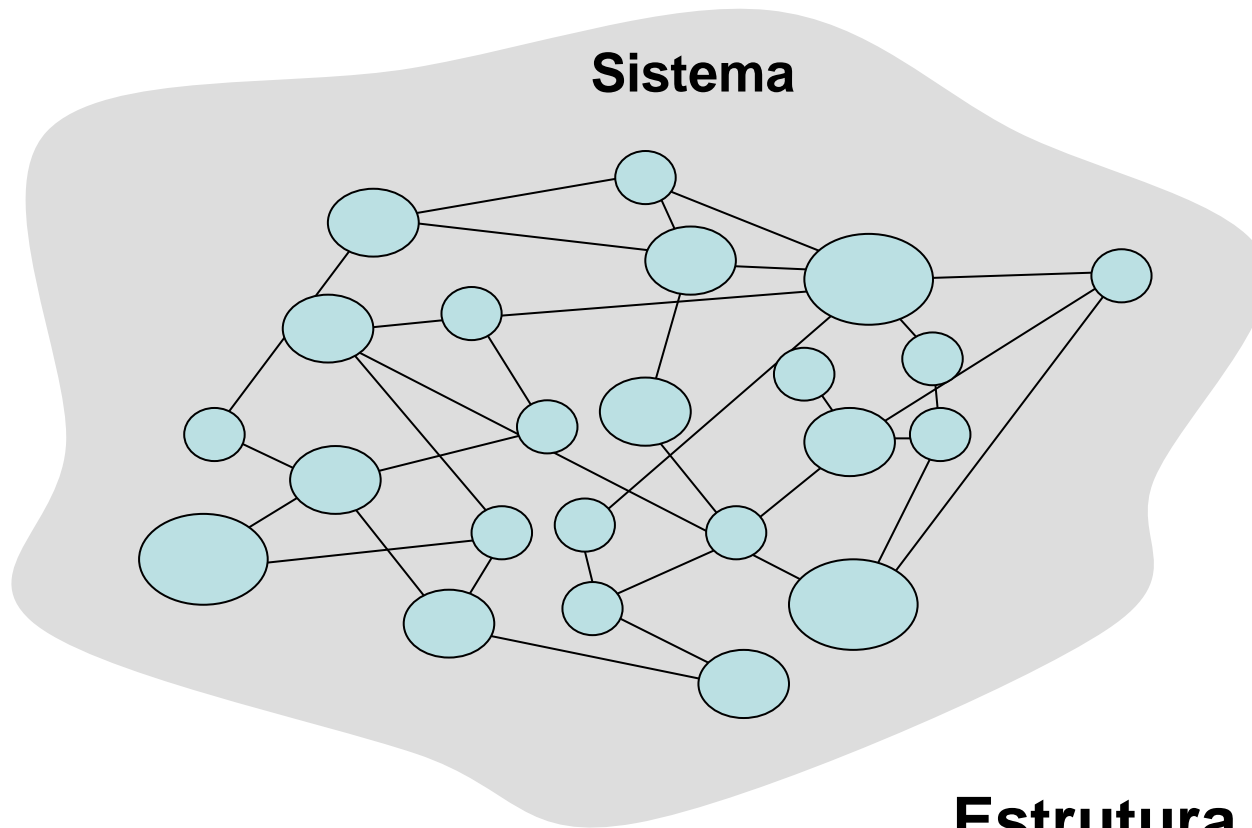
A Noção de Sistema

- Efeitos no comportamento de um sistema
 - Mudança das **partes**?
 - Produz um efeito limitado
 - Mudança das **inter-relações**?
 - Produz um efeito significativo
 - Mudança dos **objectivos**?
 - Produz um efeito que pode ser drástico
- Os **objectivos guiam** o comportamento de um sistema

**Todos os
aspectos são
essenciais**

Visibilidade?

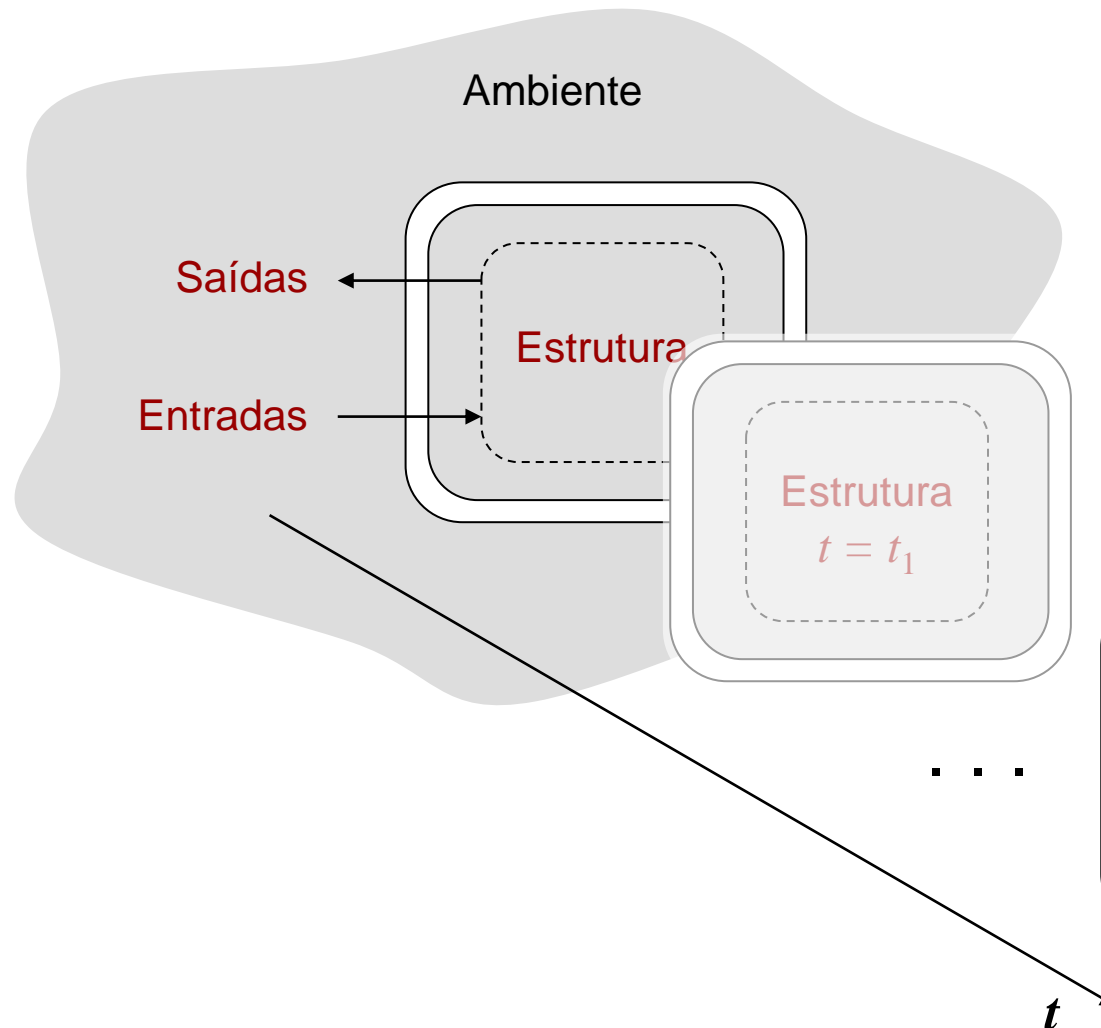
Estrutura de um Sistema



Estrutura

- Partes
- Relações entre partes

Dinâmica de um Sistema Computacional



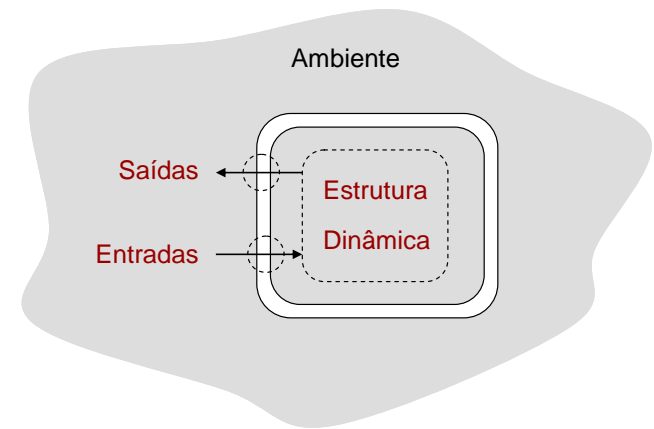
Evolução no tempo

- **Dinâmica**
- **Estado**

Memória da história relevante do sistema

A Noção de Sistema

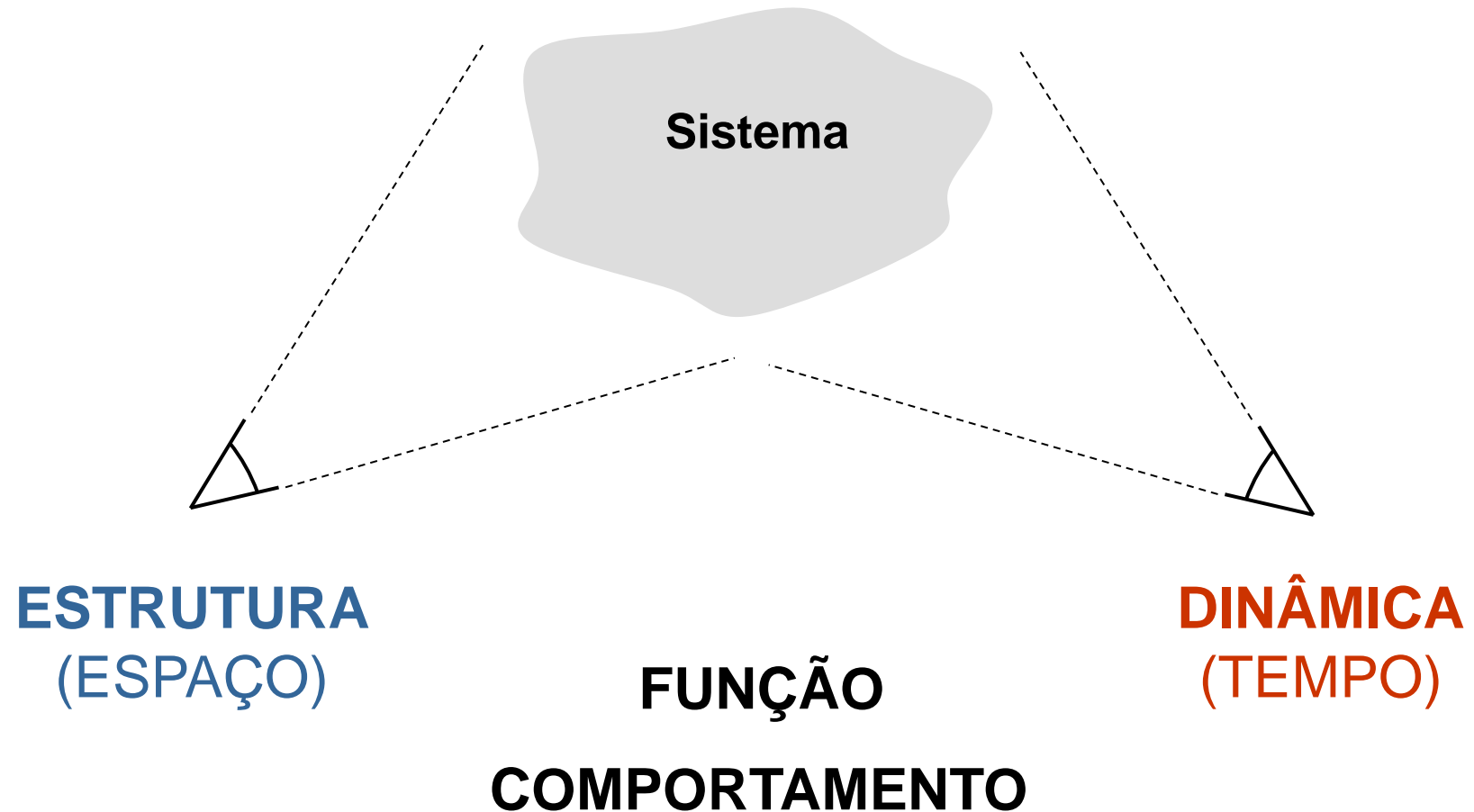
- Entradas:
 - Interfaces através das quais o sistema obtém informação do ambiente.
- Saídas:
 - Interfaces através das quais o sistema actua sobre o ambiente.
- Estrutura:
 - Partes e relações entre partes que constituem o sistema.
- Estado:
 - Valores das características da estrutura num determinado instante de tempo.
- Dinâmica:
 - Forma como o estado do sistema evolui ao longo do tempo.



Permite abstrair a estrutura concreta em termos da sua evolução

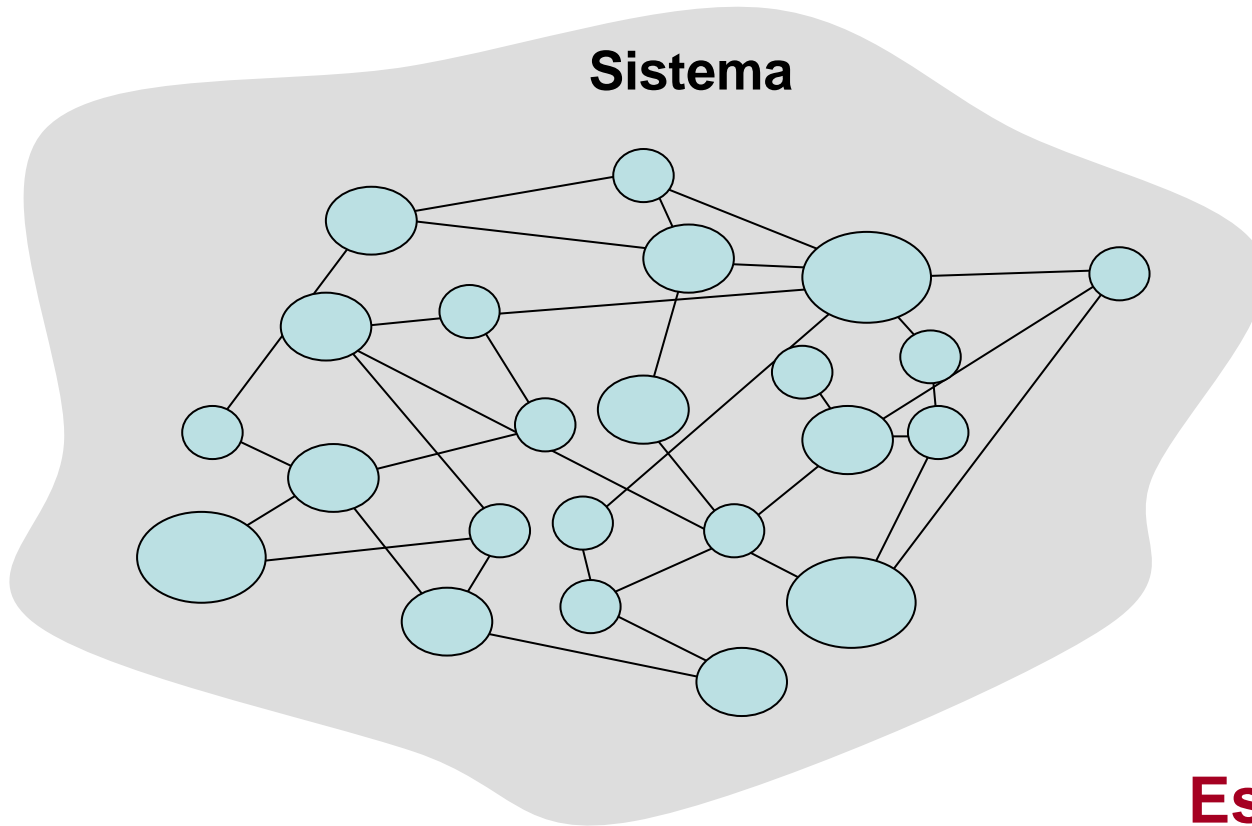
Descrição de um Sistema

Diferentes perspectivas



Partes de um Sistema

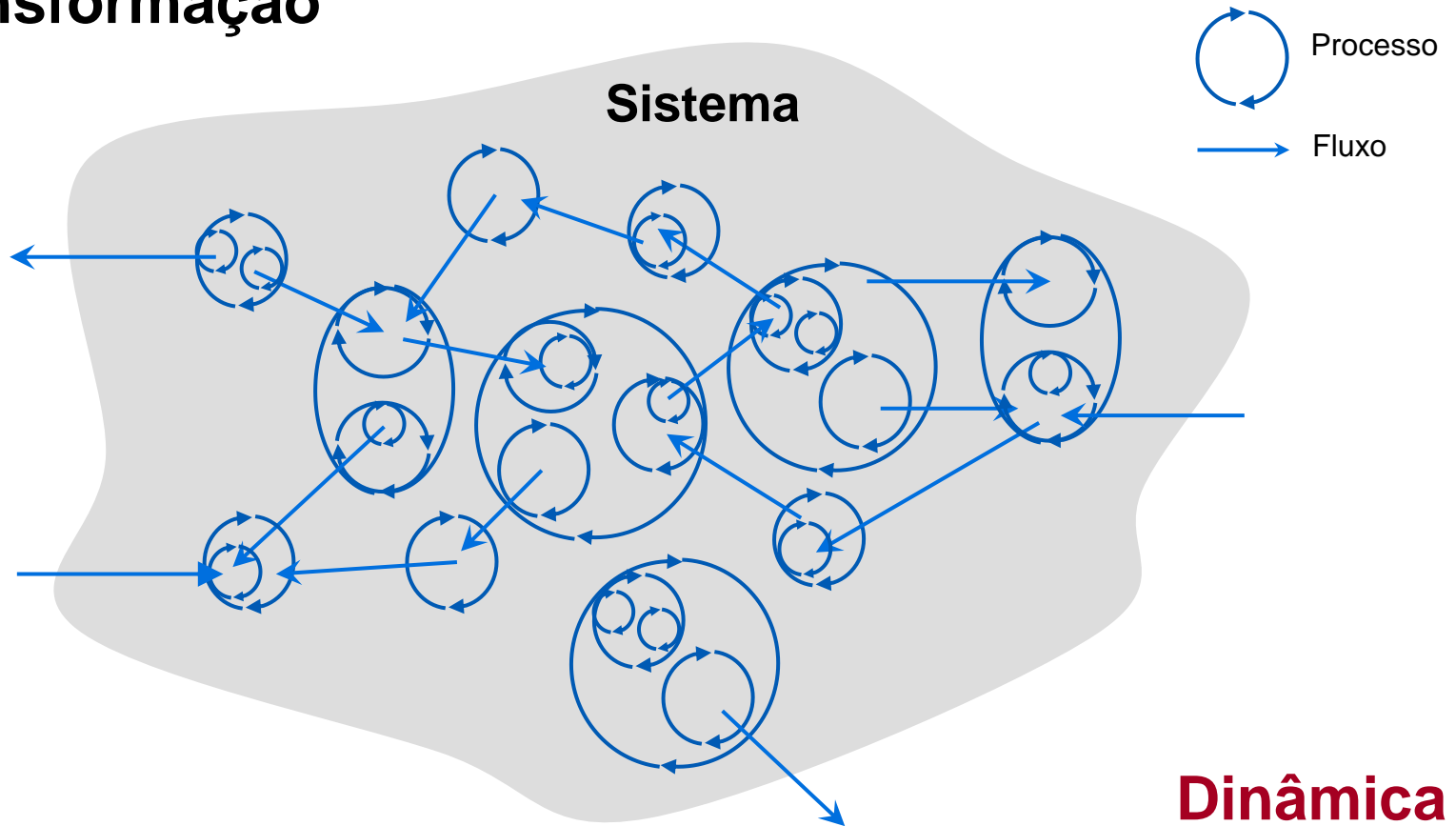
Suporte



Estrutura

Processos de um Sistema

Transformação

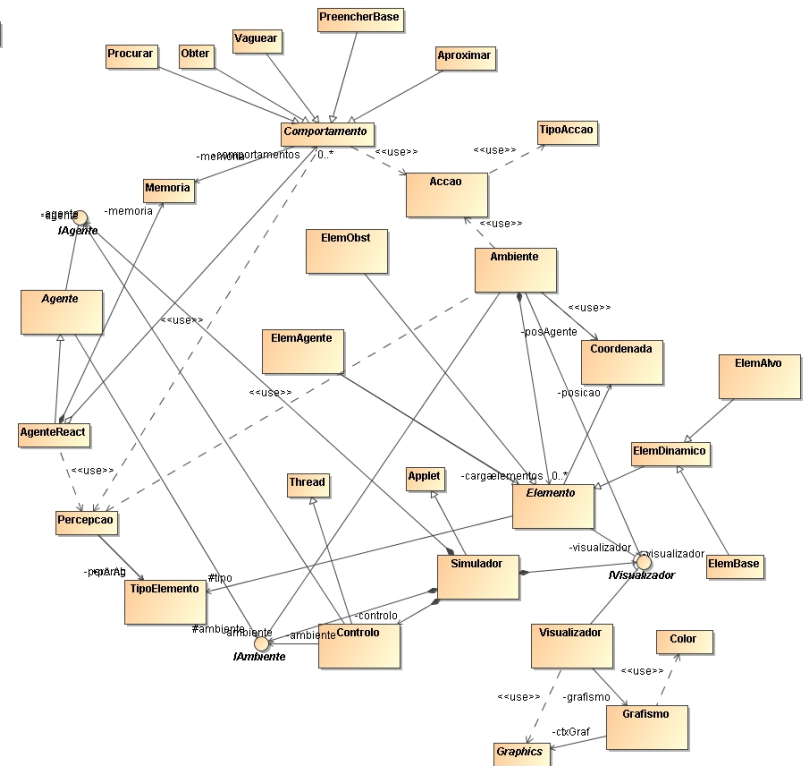
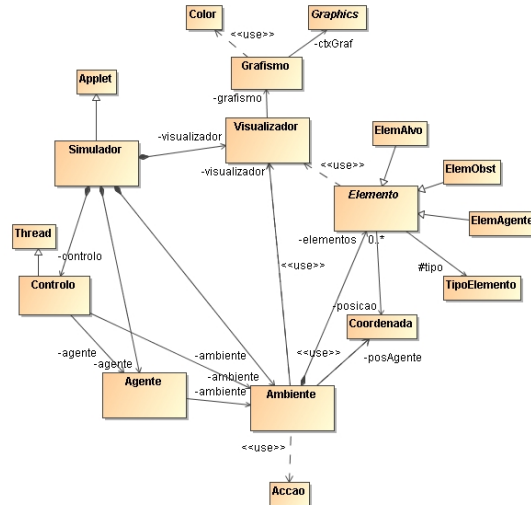


Dinâmica

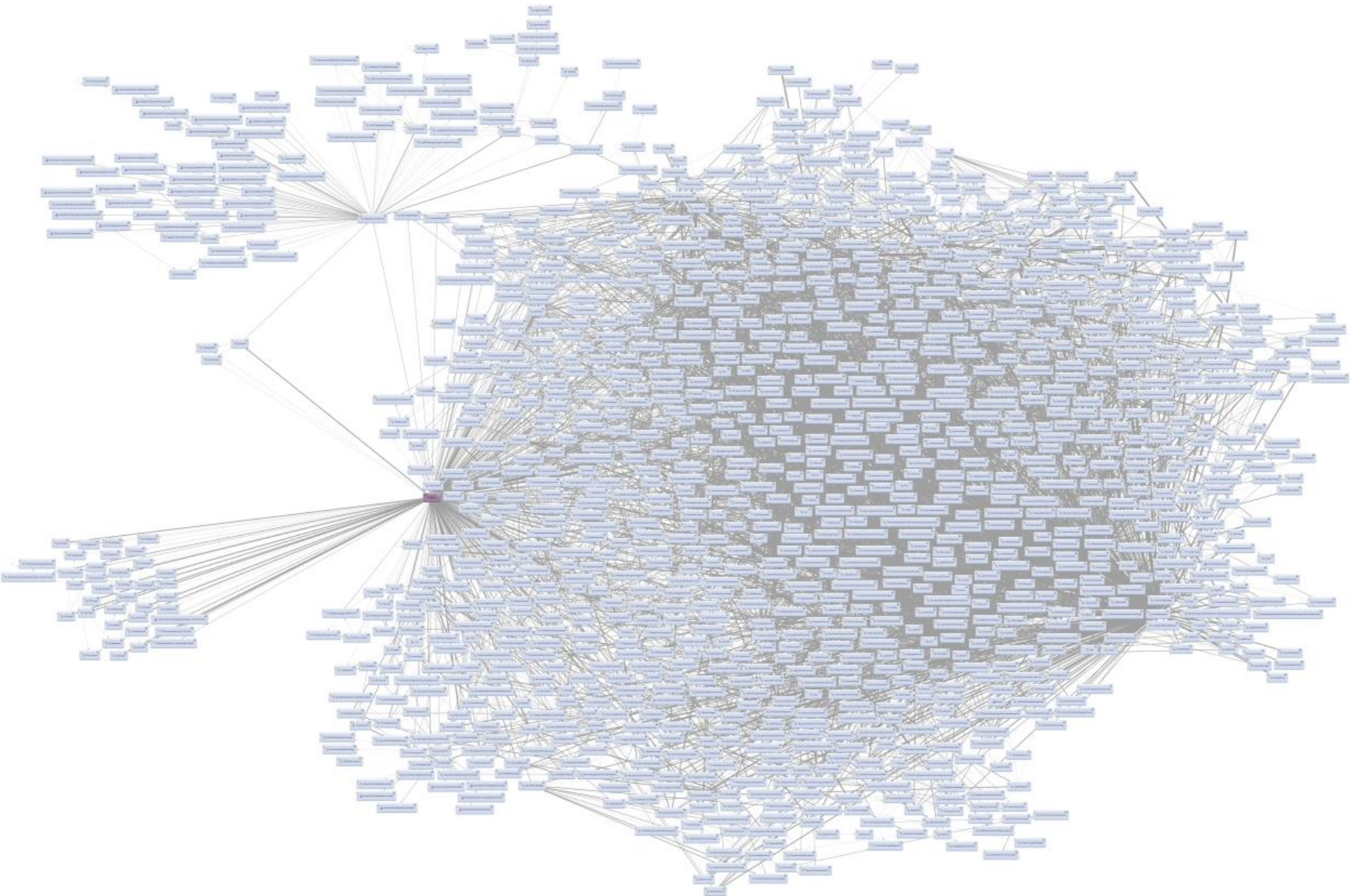
Função

Diagrama de relaciones de dependencia entre componentes de un sistema de simulación:

- Thread** depende de **Controlo**.
- Controlo** depende de **Agente** (rol: -agente) y **Simulador** (rol: -controlo).
- Agente** depende de **Controlo** (rol: -agente) y **Simulador** (rol: -agente).
- Simulador** depende de **Controlo** (rol: -controlo) y **Visualizador** (rol: -visualizador).
- Visualizador** depende de **Simulador** (rol: -visualizador) y **Grafismo** (rol: -grafismo).
- Visualizador** depende de **Ambiente** (rol: -visualizador).
- Ambiente** depende de **Controlo** (rol: -ambiente) y **Visualizador** (rol: -visualizador).
- Ambiente** tiene una dependencia genérica de **Accao** (rol: <<use>>).
- Applet** depende de **Simulador**.



SOFTWARE E COMPLEXIDADE



COMPLEXIDADE

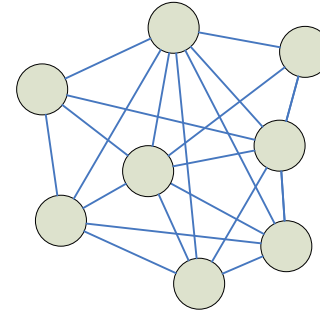
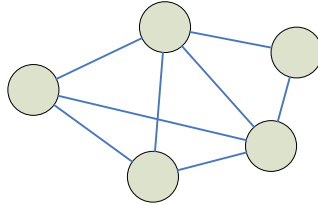
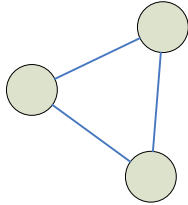
- Diferentes significados
 - Quantidade de **recursos** (tempo, memória)
 - Complexidade computacional
 - Quantidade de **informação**
 - Teoria da informação
 - Complexidade de **descrição** de um sistema
 - Complexidade algorítmica
 - Quantidade de **estados** possíveis
 - Sistemas físicos

COMPLEXIDADE

Grau de **difículdade de previsão** das propriedades de um sistema dadas as propriedades das partes individuais [Weaver, 1948]

- Relacionada com a **informação** que é necessária para a caracterização de um sistema
- Um sistema é tanto mais **complexo** quanto mais **informação** for necessária para a sua **descrição**
- Reflete-se no **esforço** necessário para geração da **organização (ordem)** do sistema

O PROBLEMA DA COMPLEXIDADE



- **UM PROBLEMA DE INTERACÇÃO**
 - De partes do sistema
 - De elementos de informação
 - De elementos das equipas de desenvolvimento
- Um sistema com duas vezes mais partes é muito mais do que duas vezes mais complexo

EXPLOÇÃO COMBINATÓRIA

O PROBLEMA DA COMPLEXIDADE

Um sistema é a soma das partes ?

Consideremos um problema p :

$C(p)$ - complexidade de p

$E(p)$ - esforço de concretização de p

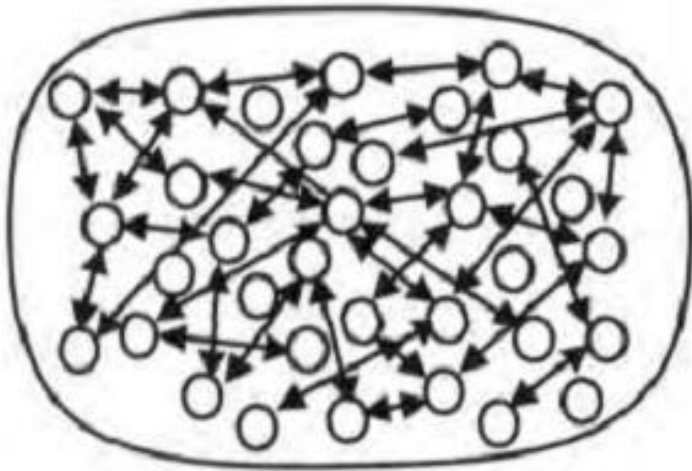
$$C(p_1) > C(p_2) \rightarrow E(p_1) > E(p_2)$$

$$C(p_1 + p_2) > C(p_1) + C(p_2)$$

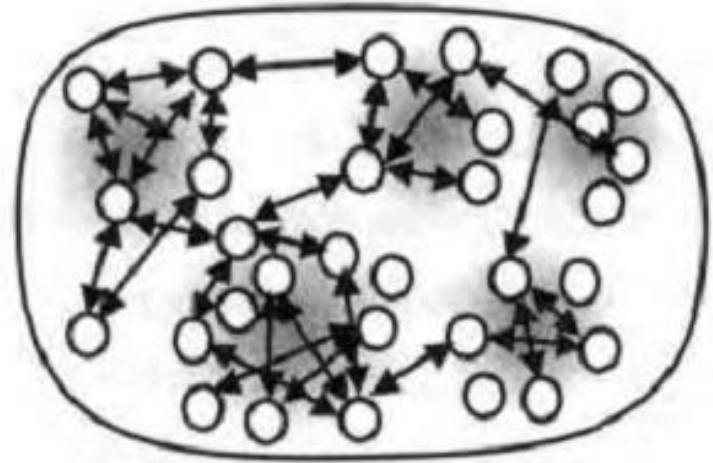
$$E(p_1 + p_2) > E(p_1) + E(p_2)$$

Há que ter em conta a interacção entre partes

COMPLEXIDADE E ORGANIZAÇÃO



AN UNSTRUCTURED SYSTEM



AN “ORGANIZED” SYSTEM

TIPOS DE COMPLEXIDADE

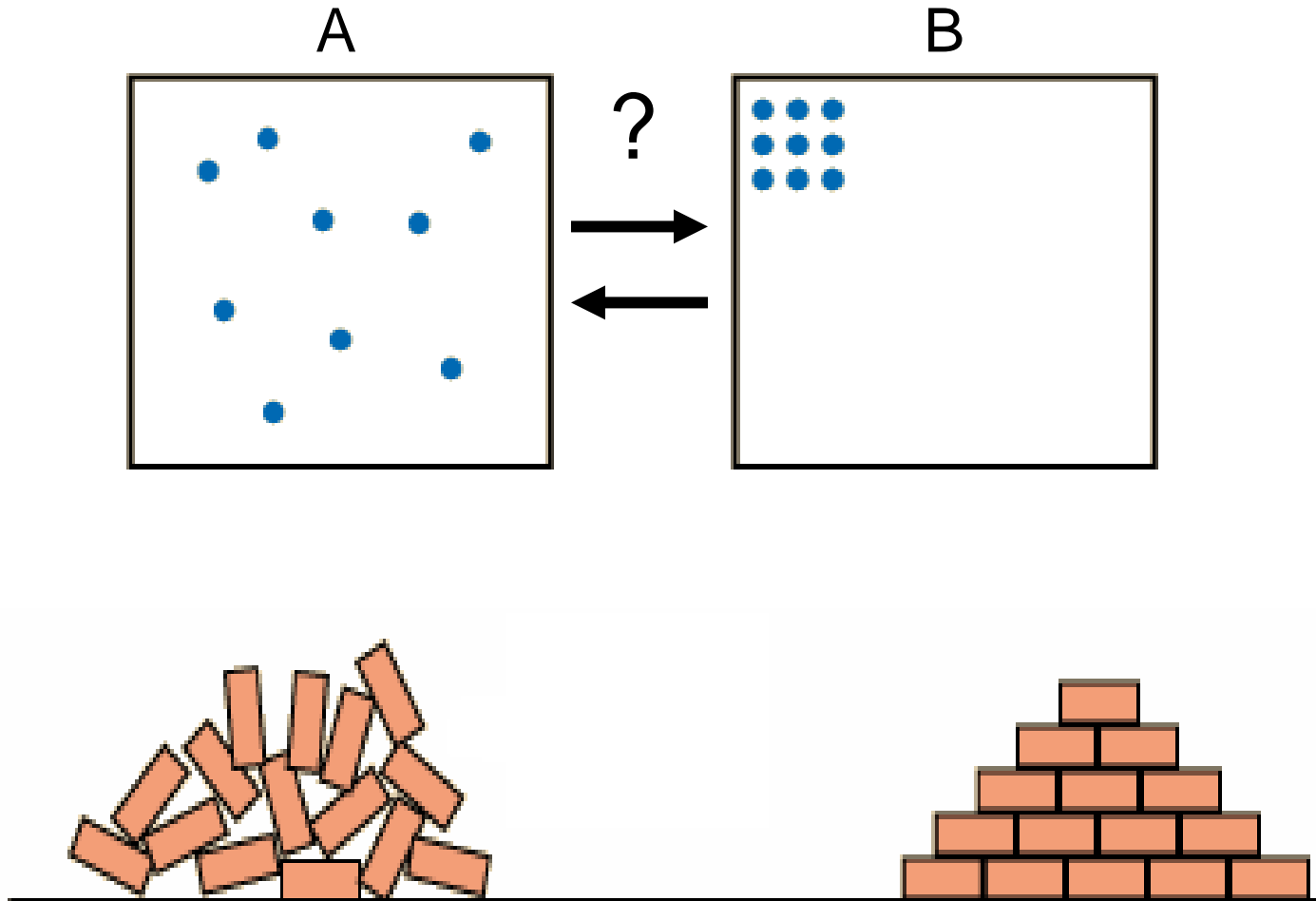
COMPLEXIDADE DESORGANIZADA

- resulta do **número e heterogeneidade** das partes de um sistema
- as partes podem interactuar entre si, mas a **interacção é irregular**
- as características globais do sistema podem ser inferidas com base em **métodos estatísticos**

COMPLEXIDADE ORGANIZADA

- resulta dos padrões de **inter-relacionamento** entre as partes
- as interacções entre partes obedecem a **padrões correlacionáveis** no espaço e no tempo
- **ORDEM, ORGANIZAÇÃO**
 - Com um propósito (finalidade)

COMPLEXIDADE E ENTROPIA



COMPLEXIDADE E ENTROPIA

- **ENTROPIA**

- Medida do grau de desordem relativa que existe num sistema fechado num dado instante de tempo

[Skyttner, 2001]

- Diferentes formalizações consoante o contexto de aplicação (e.g. Termodinâmica, Teoria da Informação)

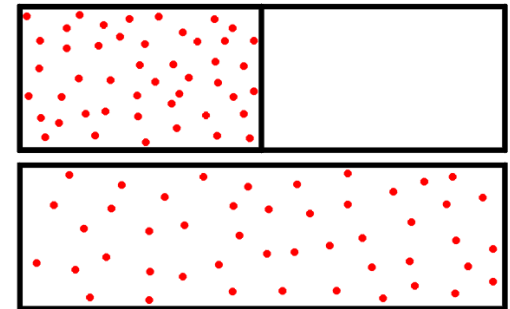
- Formalização proposta por Boltzmann:

$$S = k \log(W)$$

k – Constante de Boltzmann

W – Multiplicidade dos graus de liberdade de um sistema

MULTIPLICIDADE



MULTIPLICIDADE E ENTROPIA

- **SISTEMA**

- Agregado de partes relacionadas entre si com uma função específica

- **ESTADO (MACRO)**

- Configuração global (macro) resultante das **partes** e **relações** entre partes de um sistema

- **MICRO-ESTADO**

- Configuração específica (micro) das partes de um sistema

- **MULTIPLICIDADE** de um estado

- Número de micro-estados admissíveis do estado

MULTIPLICIDADE E ENTROPIA


- Exemplo
 - Conjunto de dados



MULTIPLICIDADE E ENTROPIA

ESTADO (macro)	MICRO-ESTADOS (2 dados)
2	1+1
3	1+2, 2+1
4	1+3, 2+2, 3+1
5	1+4, 2+3, 3+2, 4+1
6	1+5, 2+4, 3+3, 4+2, 5+1
7	1+6, 2+5, 3+4, 4+3, 5+2, 6+1
8	2+6, 3+5, 4+4, 5+3, 6+2
9	3+6, 4+5, 5+4, 6+3
10	4+6, 5+5, 6+4
11	5+6, 6+5
12	6+6

MULTIPLICIDADE E ENTROPIA

ESTADO (macro) s	MULTIPLICIDADE W	Prob. Ocorrência $P(s)$
2	1	2,8%
3	2	5,6%
4	3	8,3%
5	4	11,1%
6	5	13,9%
7	6	16,7% 
8	5	13,9%
9	4	11,1%
10	3	8,3%
11	2	5,6%
12	1	2,8%

ENTROPIA

Medida da multiplicidade dos estados de um sistema, indicando a tendência para o sistema assumir estados de máxima multiplicidade

2ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Num processo espontâneo a alteração total de entropia num sistema e no seu ambiente é positiva:

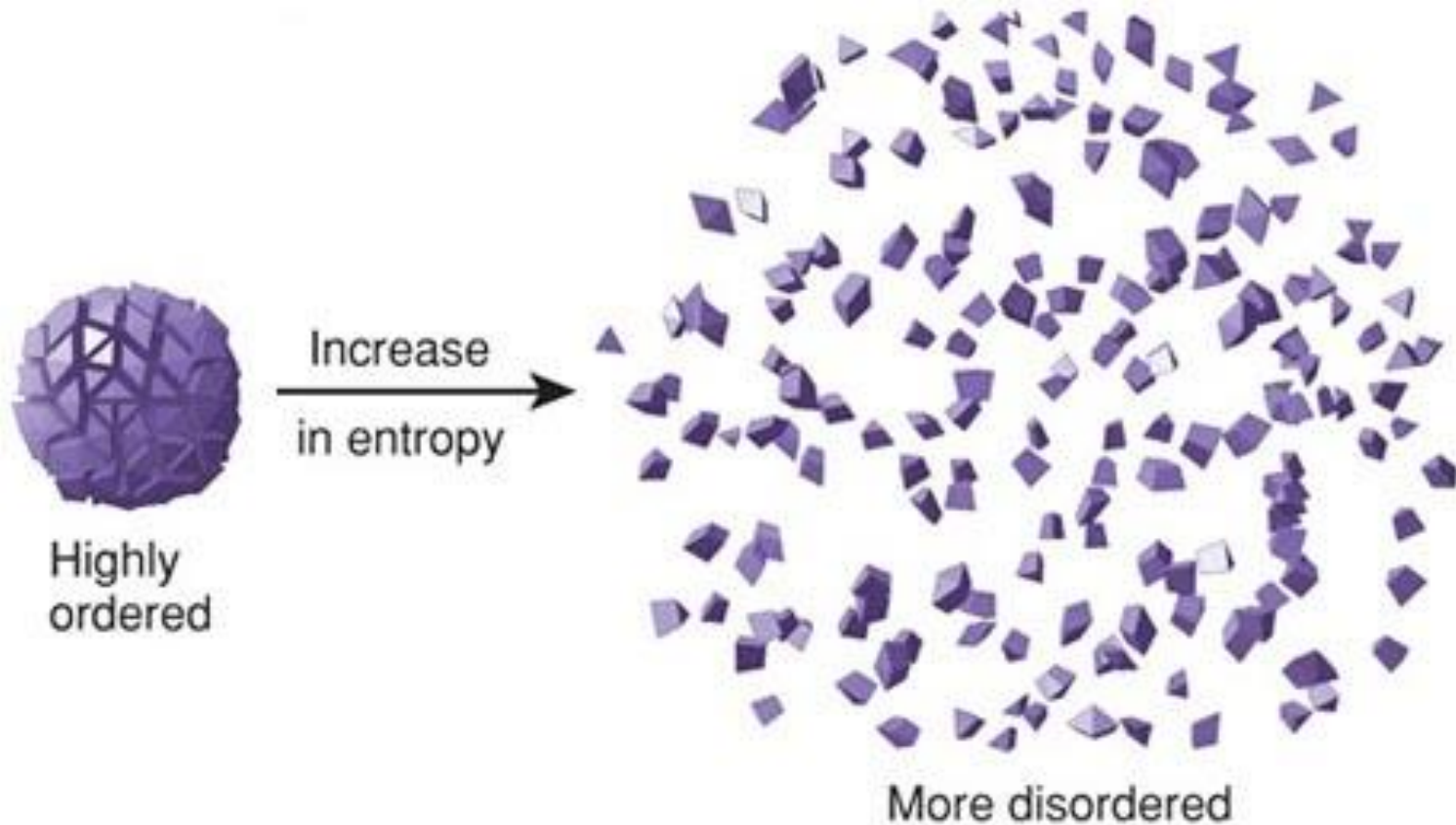
$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{ambiente}} \geq 0$$

- Num sistema fechado a entropia apenas pode manter-se ou aumentar
 - A **acção** de um sistema é inerentemente **geradora de entropia**

COMPLEXIDADE E ENTROPIA



COMPLEXIDADE E ENTROPIA

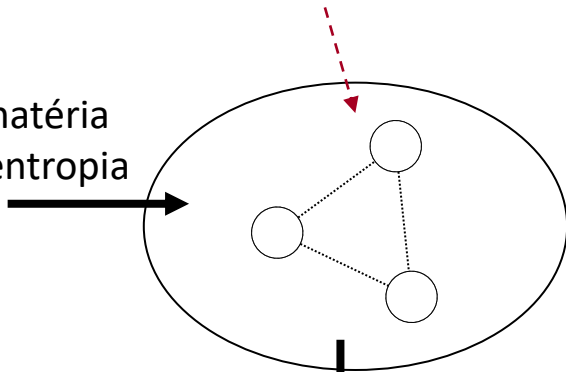


COMPLEXIDADE E ENTROPIA

SISTEMA FÍSICO

Formação de ordem interior
(matriz organizadora / auto-organização)

Fluxo de
energia/matéria
de baixa entropia

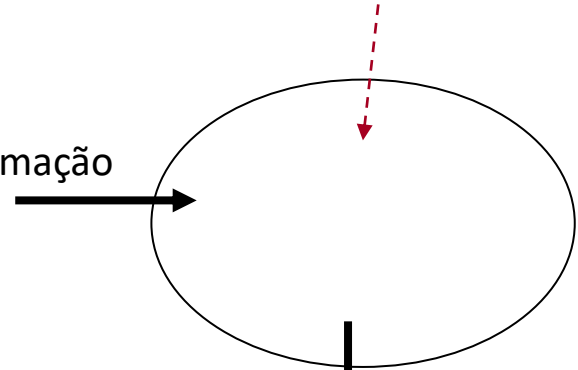


Fluxo de
energia/matéria
de **alta entropia**
(resíduos)

SISTEMA LÓGICO

Organização, estrutura,
conhecimento

Informação



Remoção de
defeitos, ...

ESFORÇO

- Desenvolvimento
- Manutenção
- Evolução

Desenvolvimento de Sistemas

- Uma outra definição de **Sistema**:
 - Conjunto de partes inter-relacionadas de tal modo que o conjunto das partes e das suas inter-relações reduz a entropia local. [Hitchins, 1992]



Ordem

Organização

Coerência funcional

Exemplo

Descrição geral

Pretende-se implementar um sistema de gestão escolar. Do estudo prévio realizado observou-se que a escola está organizada em departamentos, tendo cada departamento uma designação e sendo identificado por um código único dentro da escola. Cada departamento possui um presidente que é professor desse departamento.

Nos departamentos são leccionados um ou mais cursos, os quais pertencem obrigatoriamente a um único departamento. Cada curso tem uma designação e possui um código próprio dentro do departamento que, no entanto, pode ser o mesmo para cursos existentes noutros departamentos. Cada curso possui obrigatoriamente um responsável que é professor desse departamento. Os professores são caracterizados por nome, número de contribuinte, número de BI e por um número único dentro da escola. Cada professor pertence, obrigatoriamente, a um único departamento. Os professores podem ser presidentes de um departamento e/ou responsáveis por um curso (apenas um). Os professores leccionam uma ou mais disciplinas e, para além disso, podem ser responsáveis por várias disciplinas (eventualmente nenhuma).

Cada curso tem uma ou mais disciplinas, as quais possuem uma designação e um código próprio, único no contexto de cada curso. Cada disciplina possui obrigatoriamente um responsável que é professor do respectivo departamento, no entanto, pode ser leccionada por vários professores (pelo menos um). Os alunos inscrevem-se anualmente em uma ou mais disciplinas do curso a que pertencem. Caso obtenham aprovação têm uma nota associada à inscrição. Os alunos são caracterizados por nome, número de BI, para além disso possuem um número que os identifica na escola.

Exemplo

Esquema de Relação: $R(A, B, C, D)$

Domínios de valores:

$$D_A = \{a_1, a_2\}$$

$$D_B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$$

$$D_C = \{c_1, c_2, c_3\}$$

$$D_D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8\}$$

$$W = (2 \times 4 \times 3 \times 8)^n = 192^n$$

n = Cardinalidade de uma instância de R

Exemplo

Esquema de Relação: $R(A, B, C, D)$

Domínios de valores:

$$D_A = \{a_1, a_2\}$$

$$D_B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$$

$$D_C = \{c_1, c_2, c_3\}$$

$$D_D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8\}$$

Dependências funcionais:

$$\{A\} \rightarrow \{B, C, D\}$$

$$\{C\} \rightarrow \{D\}$$



**Reflectem conhecimento
do domínio do problema.**

Exemplo

Esquema de Relação: $R(A, B, C, D)$

Dependências funcionais:

$$\{A\} \rightarrow \{B, C, D\}$$

$$\{C\} \rightarrow \{D\}$$

Normalização 3NF: $\{ R_1(\underline{A}, B, C), R_2(\underline{C}, D) \}$

$$W_1 = (2 \times 4 \times 3)^2 = 24^2$$

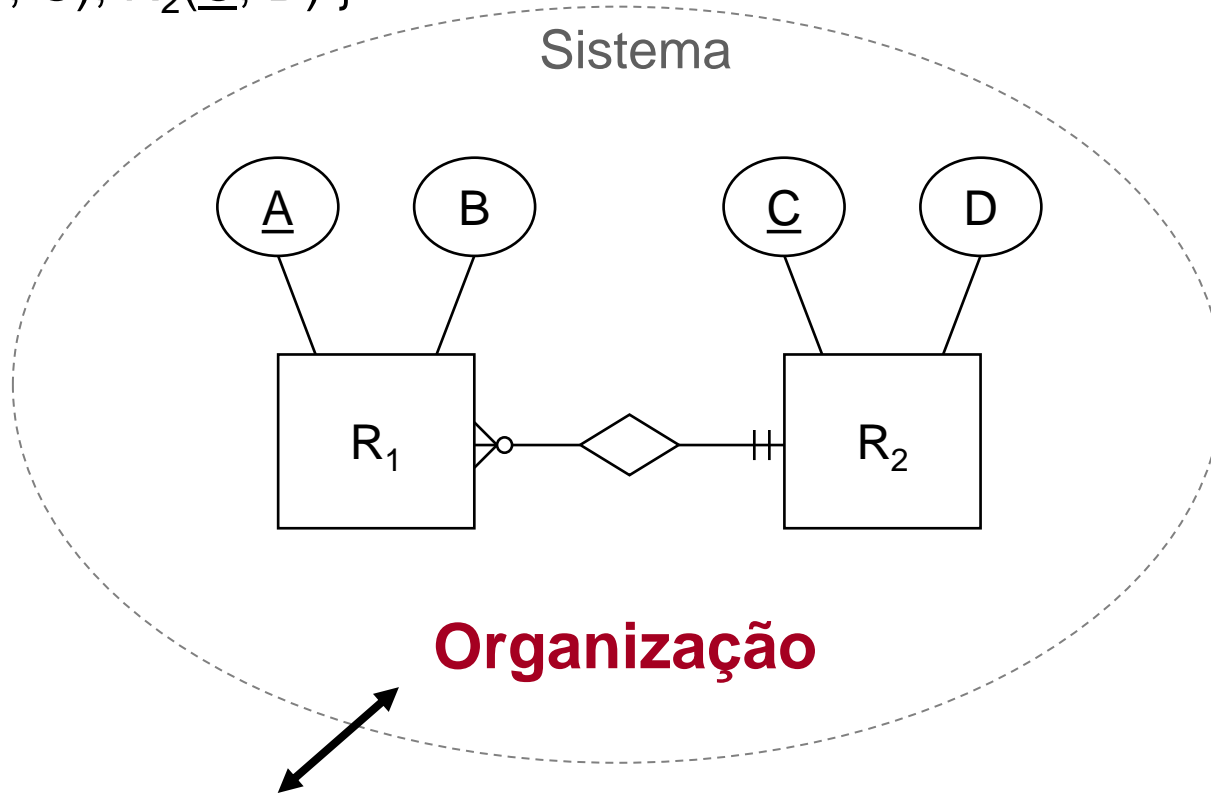
$$W_2 = (3 \times 8)^3 = 24^3$$

$$W = W_1 \times W_2 = 24^2 \times 24^3 = 24^5$$

← **Redução da multiplicidade
(redução da entropia local)**

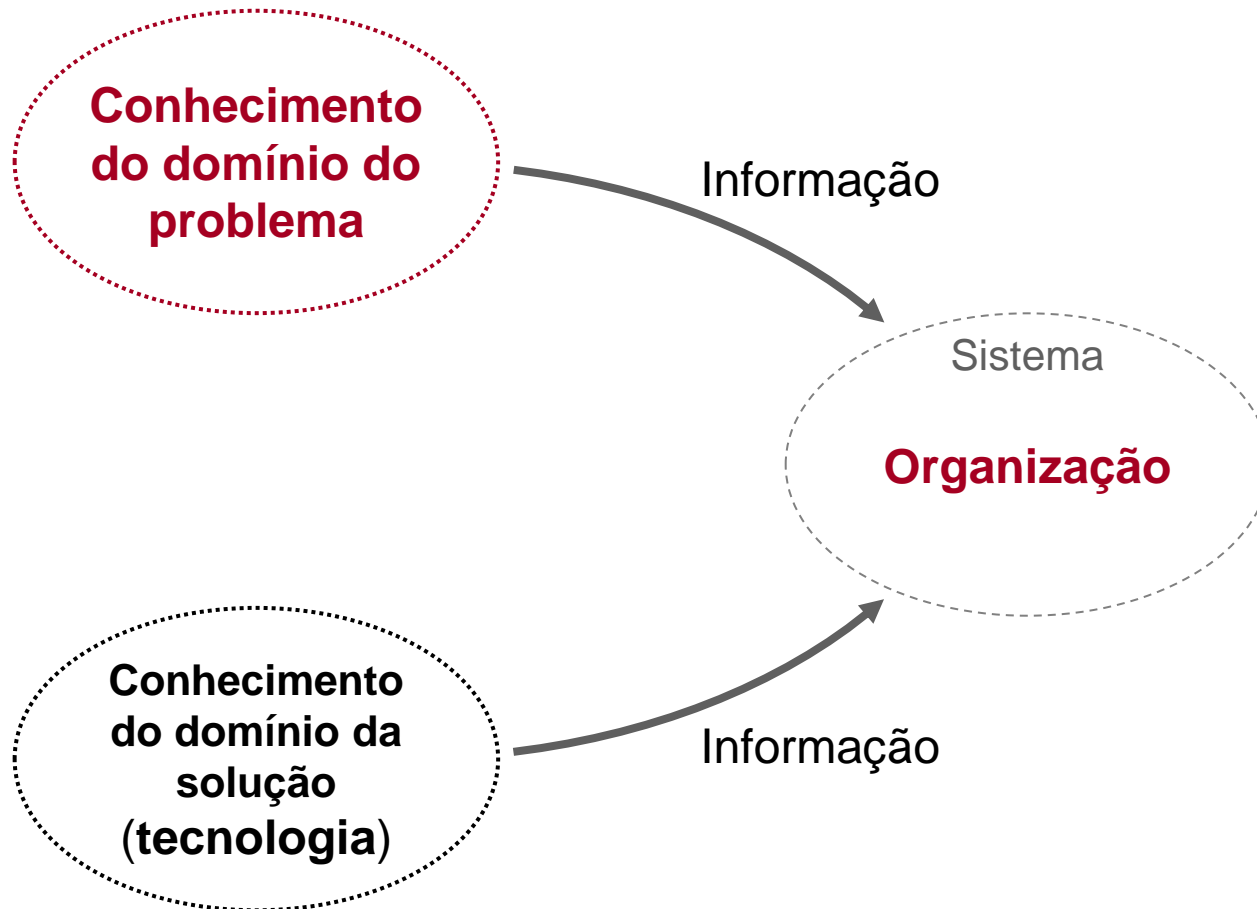
Exemplo

$\{ R_1(\underline{A}, B, C), R_2(\underline{C}, D) \}$



Redução da entropia local

Conhecimento e Organização



Software

- Elevado número de partes
- Elevada interdependência entre partes
- Explosão combinatória
- Realimentação positiva
- 2ª lei da termodinâmica
- Limitações cognitivas
- **Complexidade exponencial**

Bibliografia

[Booch *et al.*, 2007]

G. Booch, R. Maksimchuk, M. Engle, B. Young, J. Conallen, K. Houston, *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, Addison-Wesley, 2007.

[Skyttner, 2001]

L. Skyttner, *General Systems Theory*, World Scientific, 2001.

[Meadows, 2009]

D. Meadows, *Thinking in Systems: A Primer*, Earthscan, 2009.

[Pressman, 2003]

R. Pressman, *Software Engineering: a Practitioner's Approach*, McGraw-Hill, 2003.

[Weaver, 1948]

W. Weaver, *Science and Complexity*, American Scientist, 36: 536, 1948.

[Hitchins, 1992]

D. Hitchins, *Putting Systems to Work*, John Wiley, 1992.