

# Agentes Inteligentes em Sistemas Holónicos de Produção

Tese de Doutoramento  
Universidade do Minho, 2002

Paulo Sousa

# Preâmbulo



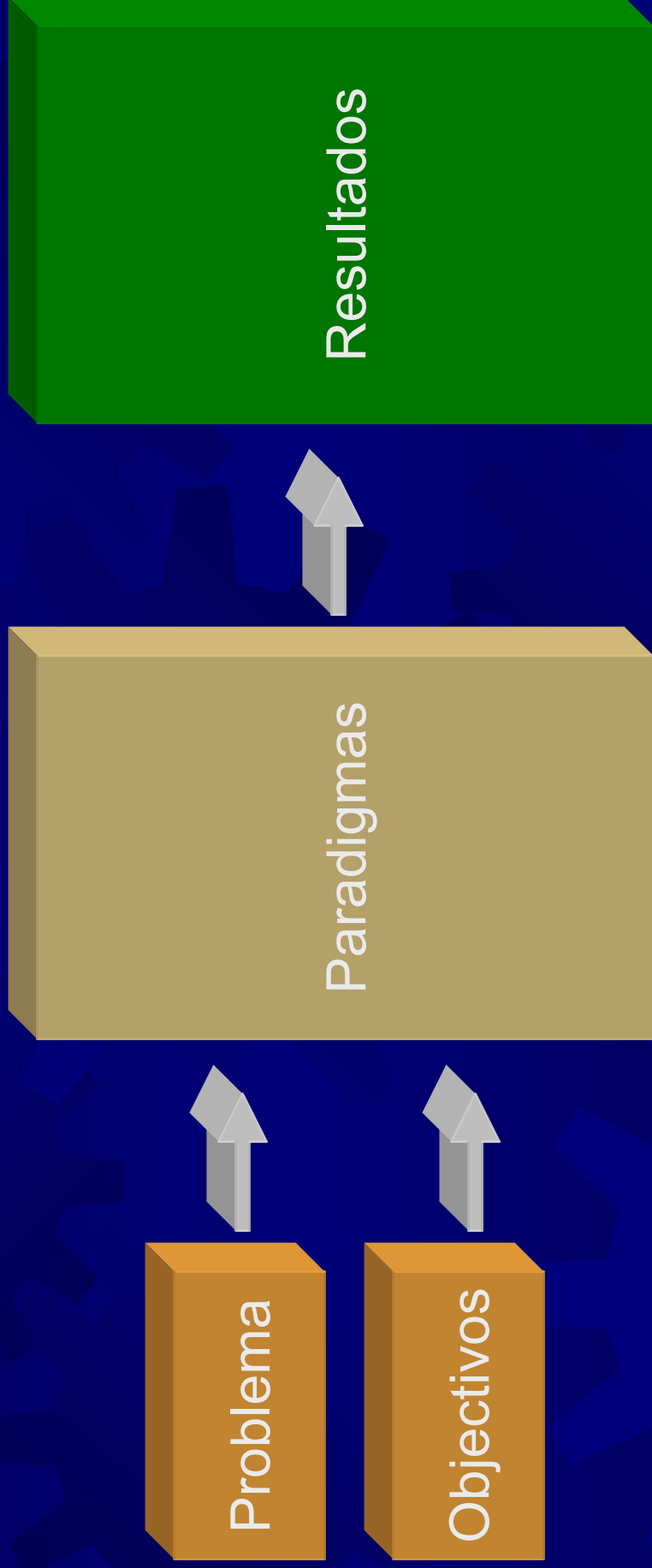
Trabalho desenvolvido em colaboração entre a  
**Universidade do Minho e o Instituto Superior de  
Engenharia do Porto**

# Conteúdo

---

- ❖ Enquadramento
- ❖ Questão e hipótese
- ❖ Objectivos
- ❖ Paradigmas utilizados
- ❖ Trabalho desenvolvido
- ❖ Conclusões e contribuições
- ❖ Tese
- ❖ Trabalho futuro

# Problema e Objectivos



# Enquadramento

- ❖ Tendências observadas na sociedade
  - ❖ Globalização de mercados
    - maior concorrência
    - maior volatilidade
  - ❖ Alterações em termos de produtos e processos
    - aumento da complexidade tecnológica e menores ciclos de vida
    - maior diversidade de soluções
    - estruturas organizacionais abertas e dinâmicas
  - ❖ Alterações nos consumidores
    - desejo de soluções mais personalizadas
    - maiores exigências de qualidade
    - consciência social e ecológica

# Enquadramento (cont.)

- ❖ Futuro da produção
  - ❖ Recursos produtivos distribuídos à escala global
  - ❖ Procura de pouca quantidade e muita variedade
  - ❖ Fornecimento de soluções individuais específicas
  - ❖ Integração e concorrência de actividades
  - ❖ Definição de competências nucleares
- ❖ Requisitos
  - ❖ Mudança contínua
  - ❖ Crescente dependência no conhecimento e inovação
  - ❖ Mais parcerias (local e globalmente)

# Enquadramento (cont.)

- ❖ Problemas nas Implementações CIM
  - ❖ Inflexibilidade
    - sistemas centralizados e rígidos
  - ❖ Falta de robustez
    - eficiência não garantida fora da gama operatória
  - ❖ Falta de adaptabilidade
    - a eventos não previstos (e.g., avarias)
  - ❖ Dificuldade de manutenção
    - Normalmente por falta de informação de retorno das máquinas
  - ❖ Soluções financeiramente onerosas
    - Elevados custos de instalação

# Questão

---

Como será possível construir sistemas informáticos de apoio à produção que sejam capazes de responder às necessidades da empresa, colocadas pela “Sociedade de Consumo Personalizado” do século XXI?

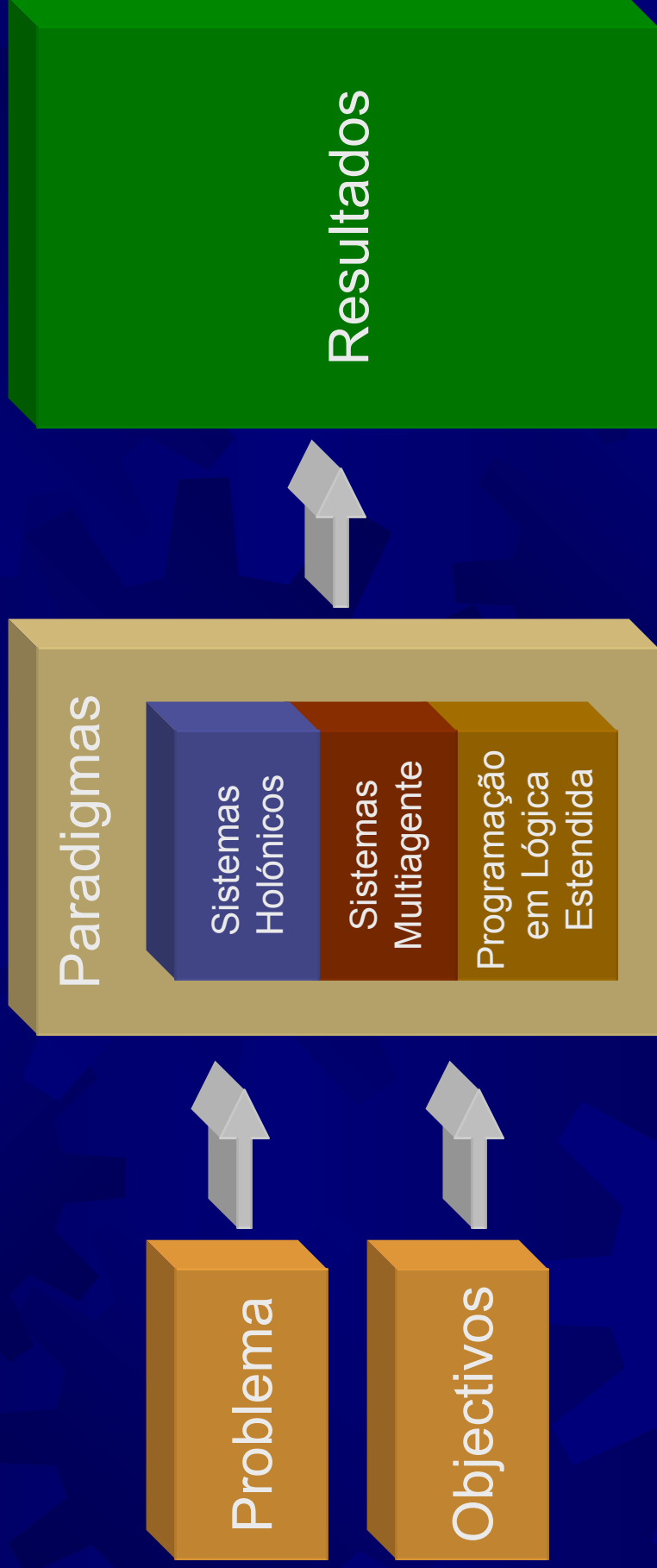
# Hipótese

A divisão dos sistemas de produção em “pequenas” unidades autônomas organizadas de acordo com a Teoria dos Sistemas Holônicos permite garantir a agilidade e vitalidade necessárias às empresas na sociedade de consumo personalizado.

# Objectivos

- ❖ Desenvolver uma arquitectura para sistemas na área de produção
- ❖ Desenvolver um método de representação e manipulação de informação incompleta
- ❖ Definir as regras de interacção entre entidades da arquitectura
- ❖ Implementar um protótipo
- ❖ Área de teste: escalonamento de tarefas

# Paradigmas Utilizados

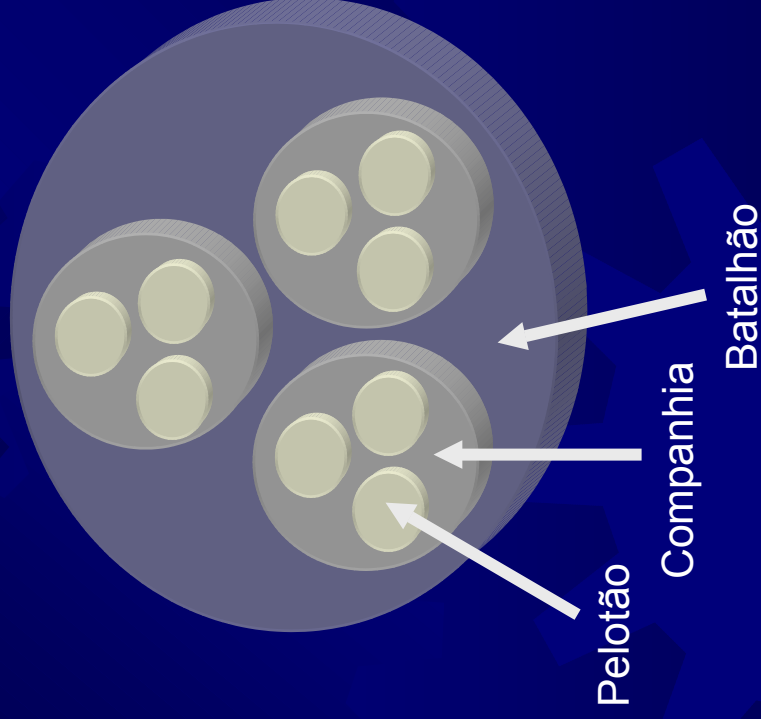


# Sistemas Holónicos

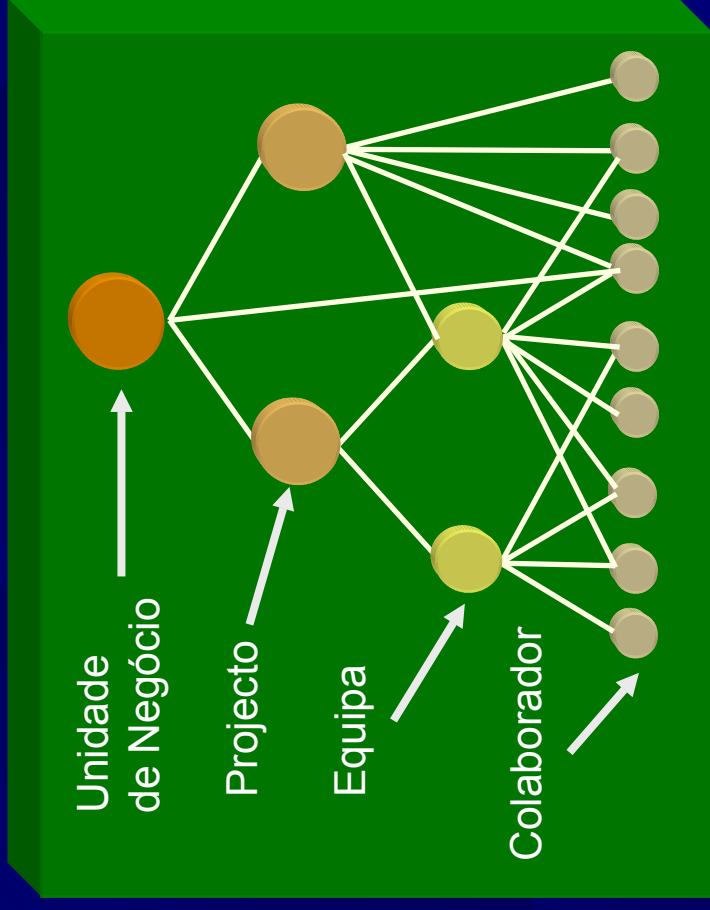
- ❖ Holon
  - ❖ O *Todo* e a *Parte*
  - ❖ Autônomo, cooperativo e estável
- ❖ Holarquias
  - ❖ A estrutura organizacional dos holons
- ❖ Dualidade Todo/Parte
  - ❖ *Sobreordinado*
  - ❖ *Subordinado*
  - ❖ *Coordinado*

# Sistemas Holónicos (cont.)

Militar



Organização



# Sistemas Holónicos de Produção

Um *Sistema Holónico de Produção* é uma holarquia que abarca a totalidade do processo produtivo desde o projecto até à venda, passando pelo fabrico, marketing e recepção de encomendas para alcançar a empresa ágil de produção.

[Valckenaers *et al.*, 1997]

# Sistemas Baseados em Agentes

## ❖ Propriedades:

- ❖ Autónomos
- ❖ Flexíveis
- ❖ Modulares
- ❖ Sociáveis
- ❖ Inteligentes

## ❖ Sistemas Multiagente

- ❖ Comunidade de agentes
- ❖ Interação

## Aplicabilidade:

- ❖ Analogia
  - ❖ Agente  $\leftrightarrow$  Holon
  - ❖ SMA  $\leftrightarrow$  SH
- ❖ Adequação a problemas complexos
- ❖ Abordagens complementares
  - ❖ Agentes  $\rightarrow$  Tecnologia
  - ❖ Holons  $\rightarrow$  Visão e Organização

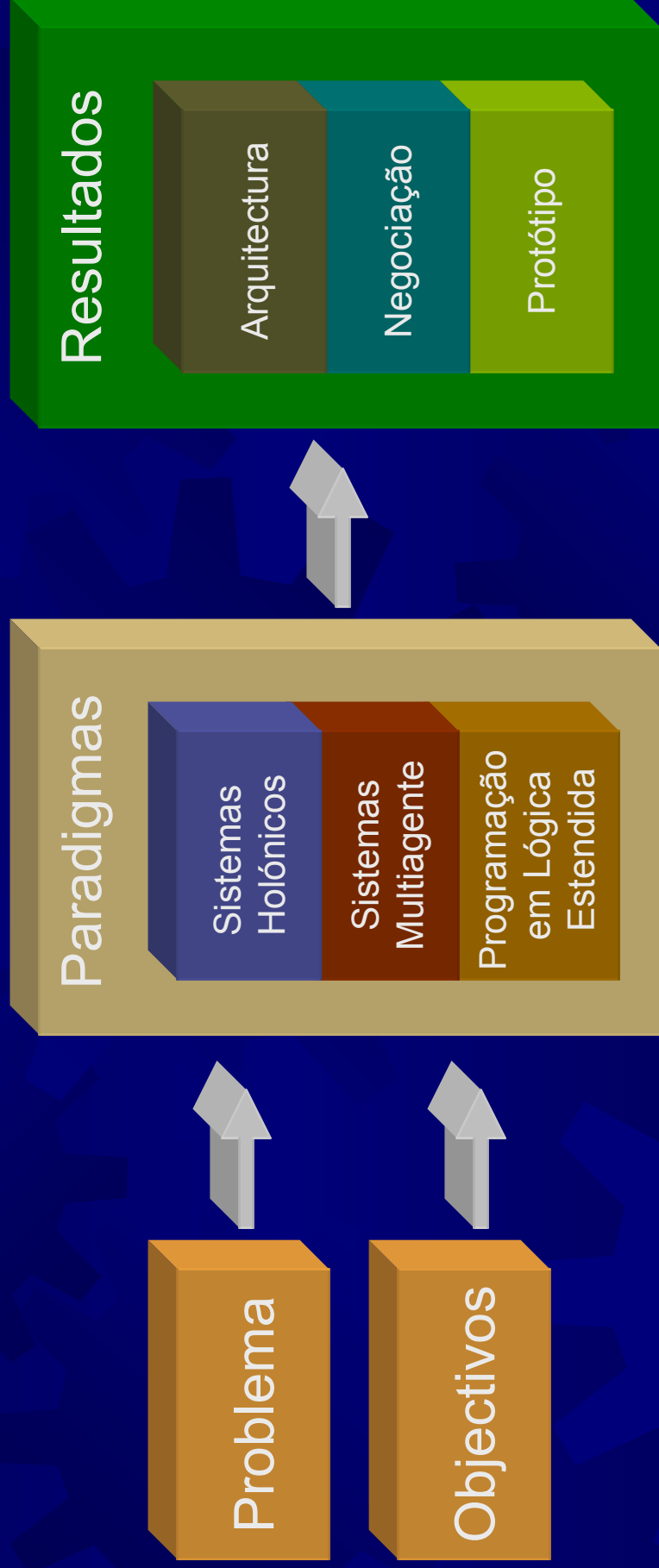
# Programação em Lógica Estendida

- ❖ Negação explícita
- ❖ Lógica Trivalor:
  - ❖ Verdadeiro
  - ❖ Falso
  - ❖ Desconhecido
- ❖ Contornar pressupostos
  - ❖ Mundo fechado
  - ❖ Domínio fechado

## Aplicabilidade:

- ❖ Implantação na IA
  - ❖ Modelação do Conhecimento
  - ❖ Criação de sistemas racionais
- ❖ Rápida prototipagem
- ❖ Representação e manipulação de nulos
  - ❖ desconhecidos
  - ❖ não permitidos
- ❖ Maior aproximação ao mundo real

# Trabalho Desenvolvido



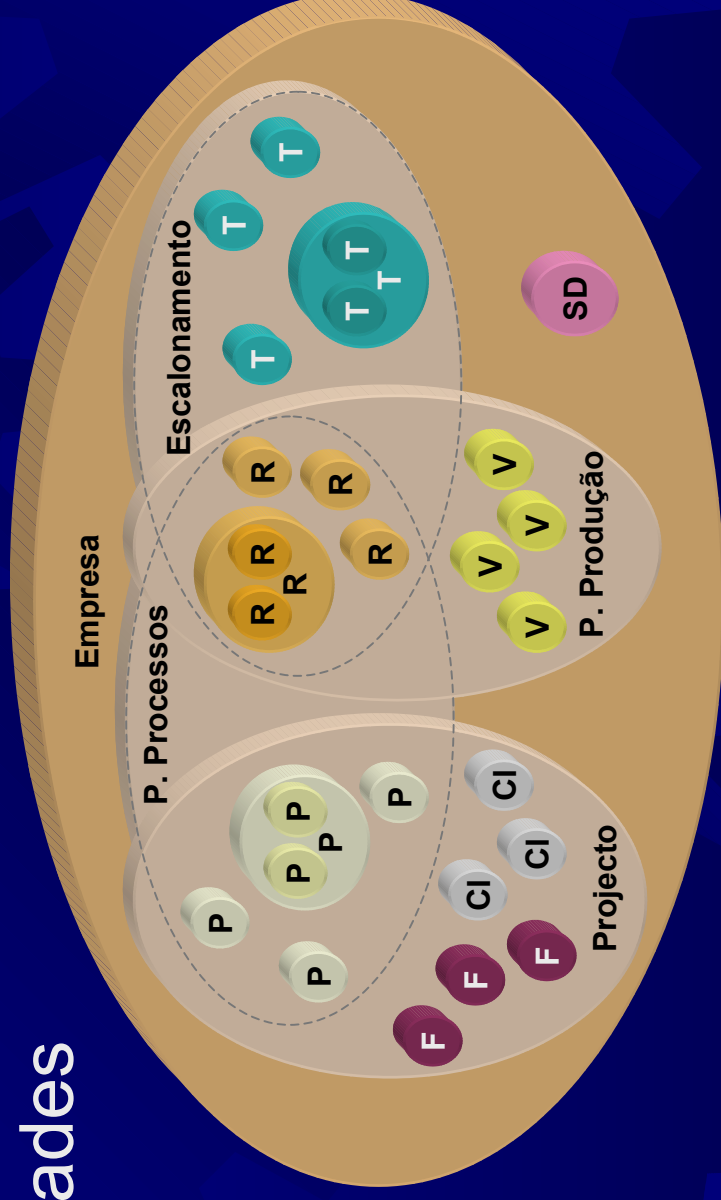
# Arquitectura Proposta

## ❖ Modelação da Realidade

- ❖ Lógica
- ❖ Física

## ❖ Principais Entidades

- ❖ Recursos
- ❖ Tarefas
- ❖ Produtos
- ❖ Clientes
- ❖ Fornecedores
- ❖ Vendas
- ❖ Compras



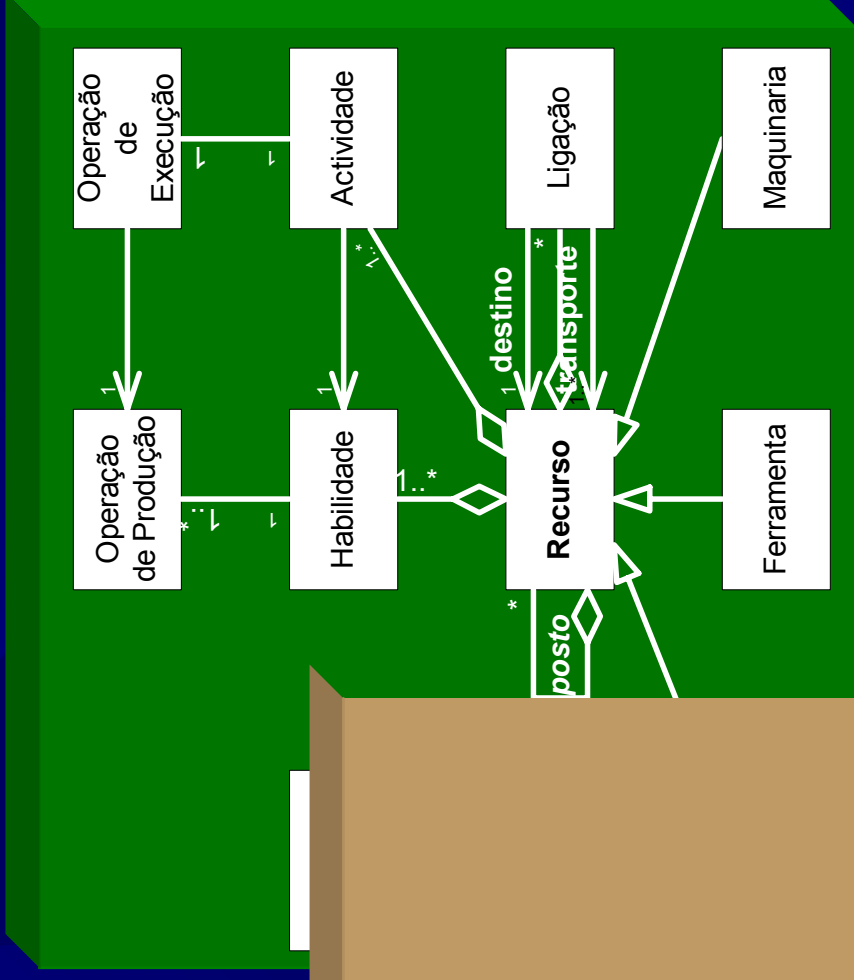
# Arquitectura Proposta (cont.)

## Conhecimento

```

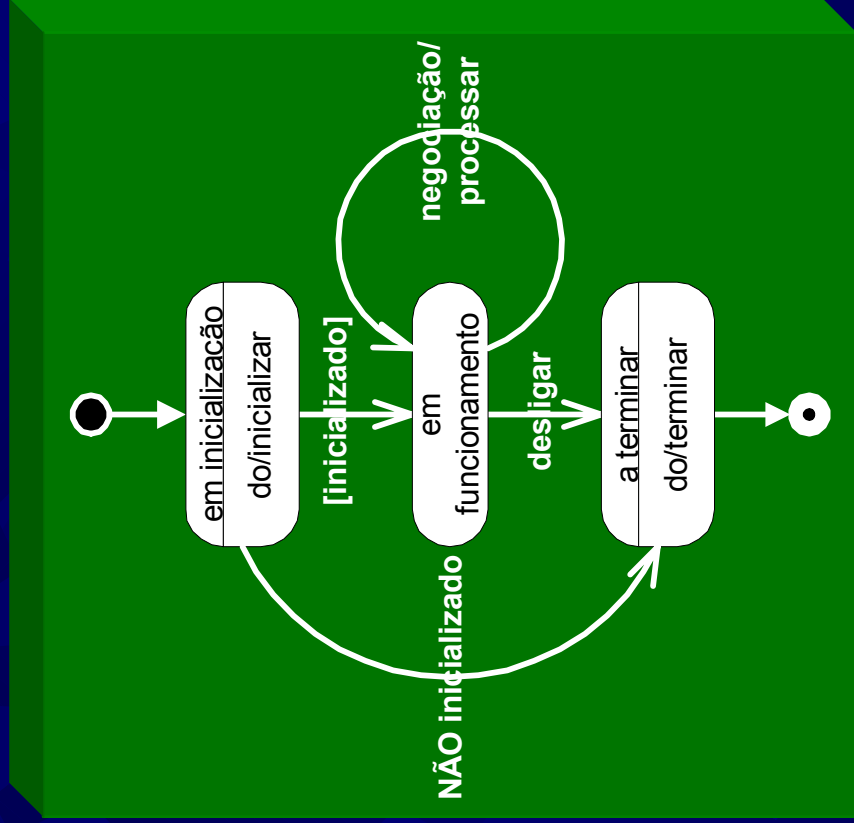
nome(N) ←
    holon(N, _)
holon(Nome, Desc) ←
    recurso(Rid, Desc, _, _) ^
    cat(id_rec_, Rid, Nome)
agenda(LActv) ← ...
agenda-intervalos(LActv) ← ...

tipo(tipo_recurso)
recurso(RId, Descrição, Data-Criação, Atributos)
habilidade(Id-Habilidade, Desc, Dur, Custo, CNC, Args)
actividade(TId, OpId, Qt, Inicio, Fim, DtLim, Estado, Pred, Succ)
    
```



# Arquitectura Proposta (cont.)

## Operação



*func\_recurso\_processar()* <sup>def</sup> ==

seja  $\gamma$  a identificação de um holon consumidor  
 seja  $\mathcal{M}$  uma mensagem recebida  
 início

enquanto  $\neg desligar$  fazer

receber\_msg( $\gamma, \mathcal{M}$ )

se  $\mathcal{M} = \text{pedido}(\dots)$  então

...

senão se  $\mathcal{M} = \text{influencia\_directa}(\dots)$  então

...

senão se  $\mathcal{M} = \text{influencia\_inversa}(\dots)$  então

...

senão se  $\mathcal{M} = \text{contrata}(\dots)$  então

...

senão se  $\mathcal{M} = \text{cancelar}(\dots)$  então

...

fim se

fim ciclo

fim

# Notação para Informação Incompleta

$negacao(p(a_0, \dots, a_{n-1}))$

$p(a_0, \dots, \omega, \dots, a_{n-1})$

$nulo(\omega)$

$excepção\_nulo(p(A_0, \dots, \_, \dots, A_{n-1})) \leftarrow$

$p(A_0, \dots, W, \dots, A_{n-1}) \wedge$

$nulo(W)$

$excepção\_set(p(a_{0,0}, a_{0,1}, \dots, a_{0,n-2}, a_{0,n-1}))$

$excepção\_set(p(a_{1,0}, a_{1,1}, \dots, a_{1,n-2}, a_{1,n-1}))$

...

$excepção\_set(p(a_{k-2,0}, a_{k-2,1}, \dots, a_{k-2,n-2}, a_{k-2,n-1}))$

$excepção\_set(p(a_{k-1,0}, a_{k-1,1}, \dots, a_{k-1,n-2}, a_{k-1,n-1}))$

$nulo\_n\_permitido(p(A_0, \dots, \delta, \dots, A_{n-1}))$

$nulo\_n\_permitido(p(A_0, \dots, A_{n-1})) \leftarrow$

$C_0 \wedge \dots \wedge C_{m-1}$

$demo(KB \cup KB_\varepsilon \cup KB_\pi \cup \mathcal{D}, Q) \stackrel{\text{def}}{=}$

seja  $KB$  uma BC escrita na linguagem lógica  $\mathcal{L}$

seja  $KB_\varepsilon$  a BC mutuamente exclusivo

seja  $KB_\pi$  a BC obre situações proibidas

seja  $\mathcal{D}$  o conjunto de identificadores de nulos

seja  $Q$  uma questão sobre um predicado  $q(a_0, \dots, a_n)$

seja  $a_i$  um dos argumentos da questão  $Q$

início

se  $KB \vdash Q$  então

se  $(\forall a_i) a_i \notin \mathcal{D}$  então  $demo \mapsto verdadeiro$

se  $(\exists a_i) a_i \in \mathcal{D}$  então  $demo \mapsto desconhecido$

fim se

se  $KB \vdash \neg Q$  então  $demo \mapsto falso$

se  $KB \not\vdash Q \wedge KB \not\vdash \neg Q$  então  $demo \mapsto desconhecido$

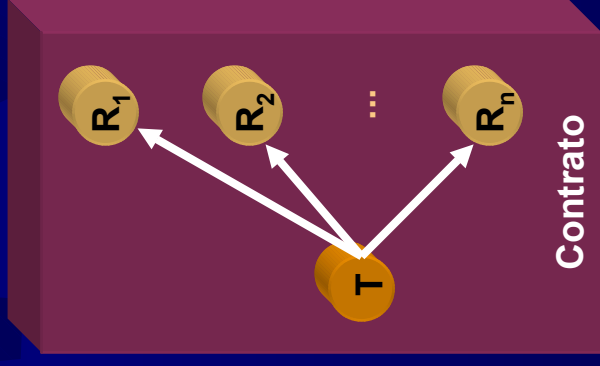
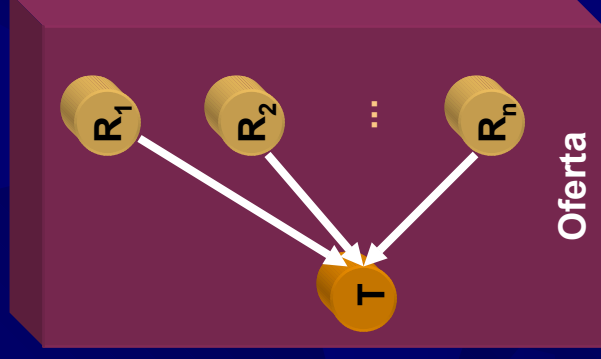
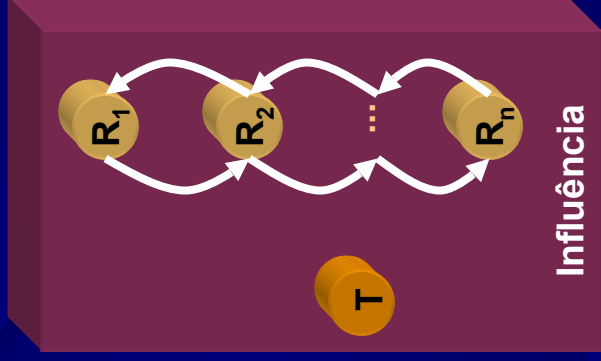
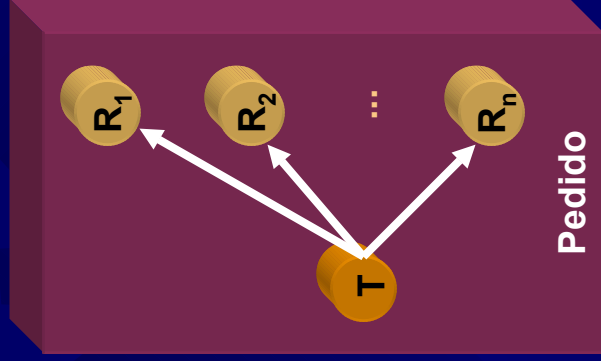
se  $KB_\varepsilon \vdash Q$  então  $demo \mapsto desconhecido$

se  $KB_\pi \vdash Q$  então  $demo \mapsto \perp$

fim

# Protocolo de Negociação

## Especificação



# Protocolo de Negociação (cont.)

## Estudo da complexidade

$$M_{prepr} = \left( \sum_{i=1}^n R(i) \right) + [2 \times \psi(\mathcal{P})] + [2 \times (\psi(\mathcal{P}) + \chi(\mathcal{P}))]$$

$$\psi(\mathcal{P}) = \sum_{i=1}^{n-1} (R(i) \times \chi(\text{truncar}(\mathcal{P}, i)) \times R(\text{succ}(i)))$$

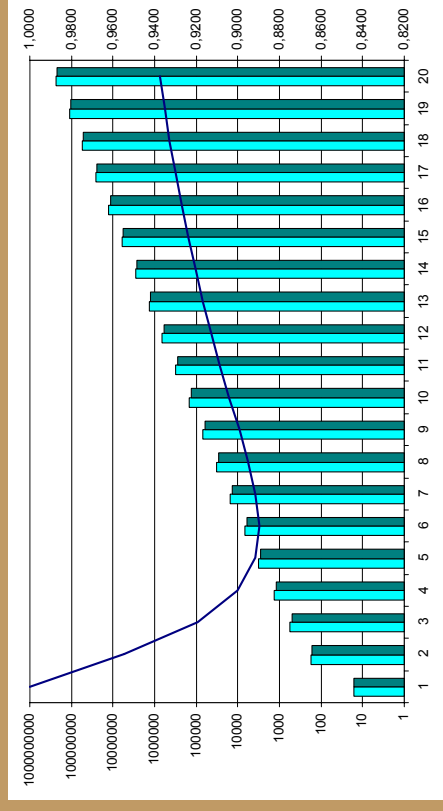
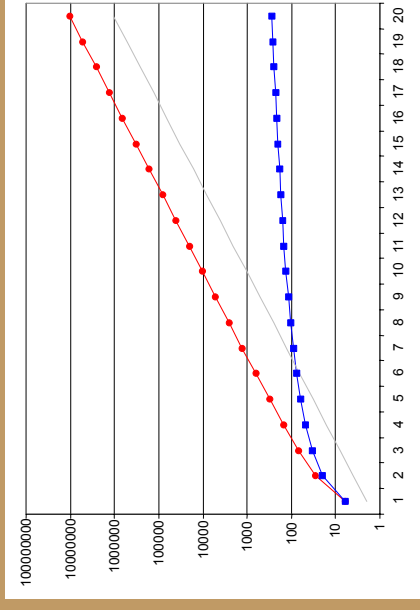
$$M_{prepr} \leq n \cdot r + 10r^n \Rightarrow O(r^n)$$

$$M_{prepr}^2 = 3 \times \left( \sum_{i=1}^n R(i) \right) + 2 \times \left( \sum_{i=1}^{n-1} (R(i) \times R(\text{succ}(i))) \right)$$

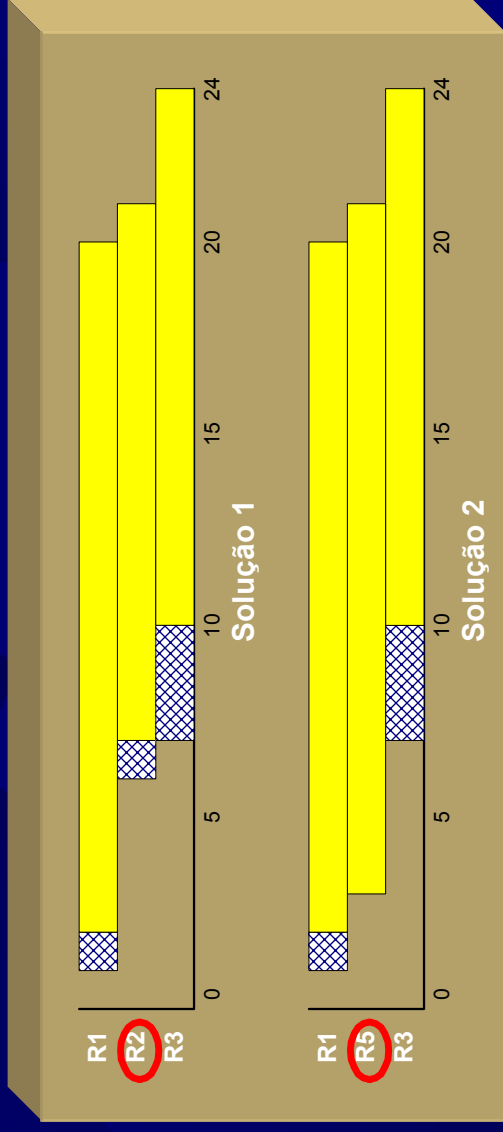
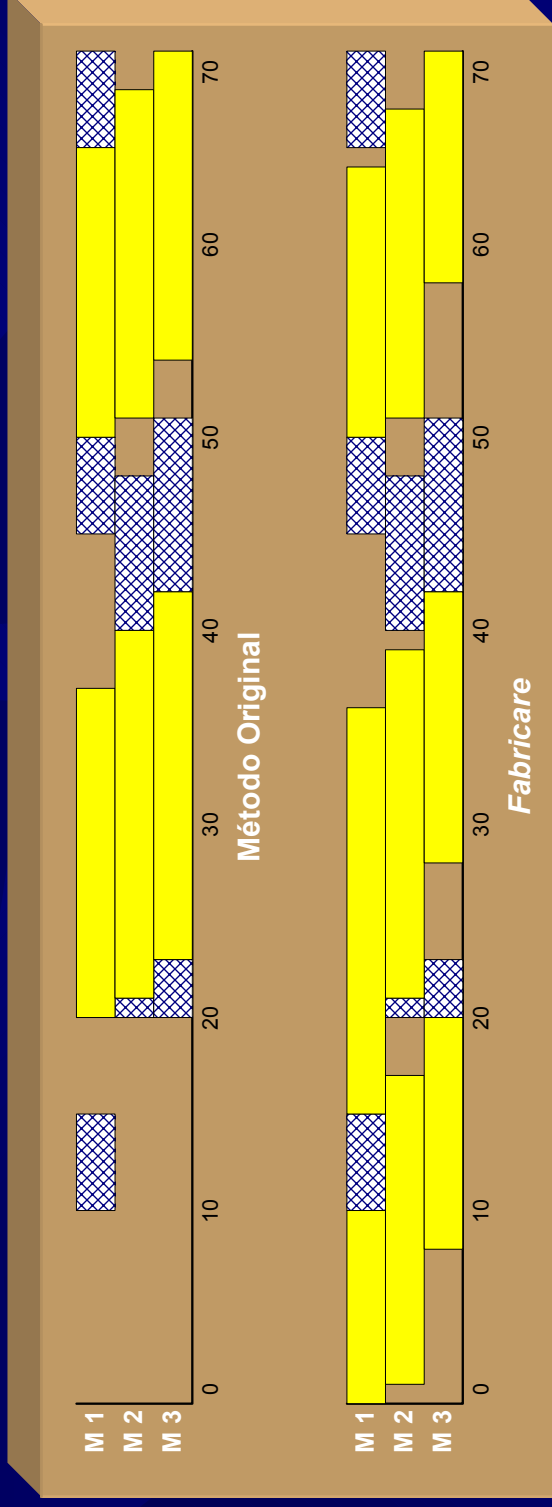
$$M_{prepr}^2 \leq n \cdot (3r + 2r^2) \Rightarrow O(n)$$

$$T_{prepr} = 2 \times \psi(\mathcal{P}) \times T_{inf} + (\psi(\mathcal{P}) + \chi(\mathcal{P})) \times T_{bid}$$

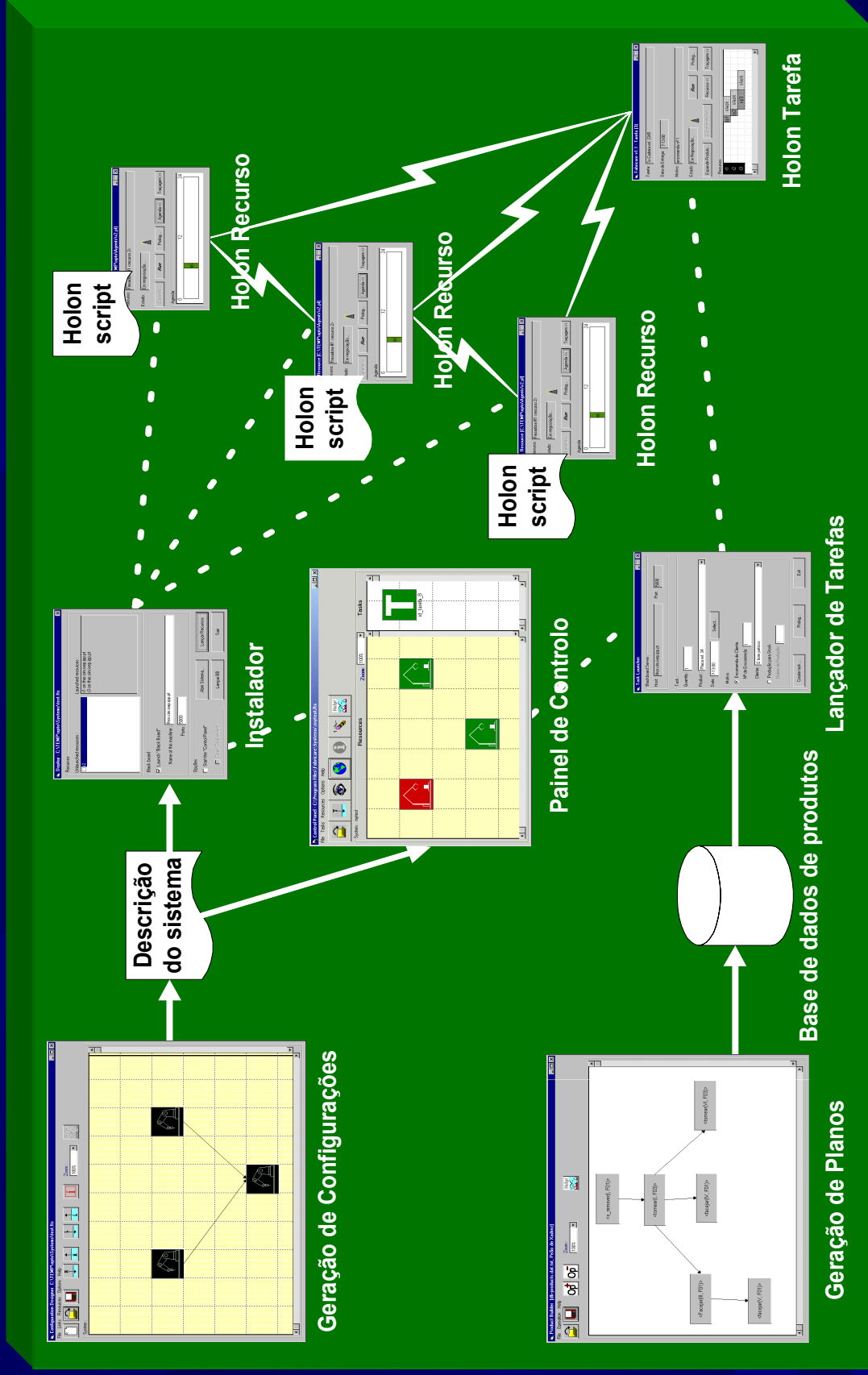
$$T_{prepr}^2 = 2 \times \left( \sum_{i=1}^{n-1} (R(i) \times R(\text{succ}(i))) \times T_{inf}^2(i) \right) + \left( \sum_{i=1}^n R(i) \times T_{bid}^2(i) \right)$$



# Algoritmo de Escalonamento



# Protótipo *Fabricare*



# Conclusões e Contribuições da Tese

- ❖ Análise, especificação e desenvolvimento de uma arquitectura para sistemas holónicos de produção
- ❖ Integração numa extensão à programação em lógica de sistemas de representação e interpretação de conhecimento, com aplicação a sistemas holónicos que tratam com informação incompleta
- ❖ Análise, especificação e implementação de um protocolo de negociação e seu estudo de complexidade
- ❖ Análise, especificação e concepção de um algoritmo distribuído para tarefas de escalonamento
- ❖ Concepção de um protótipo

# Tese

---

A divisão dos sistemas de produção em “pequenas” unidades autônomas organizadas de acordo com a Teoria dos Sistemas Holônicos permite garantir a agilidade e vitalidade necessárias às empresas na sociedade de consumo personalizado.

# Trabalho Futuro

- ❖ Refinamento do protocolo de negociação por forma a obstar possíveis situações de explosão combinatória
- ❖ Reequacionar a utilização de informação incompleta nos diversos holons através de uma extensão à programação em lógica que permita a definição de um conjunto não enumerável de valores de verdade
- ❖ Especificação dos mecanismos necessários ao suporte de holarquias dinâmicas
- ❖ Tratamento de eventos extraordinários

# Principais Publicações

- ❖ P. Sousa, C. Ramos e J. Neves (2002), *The Fabricare Scheduling Prototype Suite: agent interaction and knowledge base*. **Journal of Intelligent Manufacturing**. (a publicar)
- ❖ P. Sousa, C. Ramos e J. Neves (2002), *The Fabricare System. Production Planning & Control*. (a publicar)
- ❖ P. Sousa, C. Ramos, e J. Neves (2000), *Manufacturing Entities with Incomplete Information. Studies in Informatics and Control Journal*.
- ❖ P. Sousa, N. Silva, T. Heikkilä, M. Kallingbaum e P. Valckneers (2000), *Aspects of Co-operation in Distributed Manufacturing Systems. Studies in Informatics and Control Journal*.
- ❖ P. Sousa e C. Ramos (1999), *A Distributed Architecture and Negotiation Protocol for Scheduling in Manufacturing Systems. Computers in Industry*.
- ❖ P. Sousa e C. Ramos (1998), *A Dynamic Scheduling Holon for Manufacturing Orders. Journal of Intelligent Manufacturing*.