



# SCC-630 - Capítulo 6

## Planejamento

João Luís Garcia Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências de Computação  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Universidade de São Paulo - São Carlos  
[joaoluis@icmc.usp.br](mailto:joaoluis@icmc.usp.br)

2011

# Agradecimento

Agradeço à Profa. Maria Carolina Monard, que gentilmente permitiu que eu usasse seus slides [2] para preparação deste capítulo.

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - **Introdução**
  - Conceitos
  - Etapas do Planeamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Noção de Planejamento e Aplicações

- Planejar significa escolher um conjunto de ações antes de agir, ou seja, é o processo de pré-calculas diversas etapas de um procedimento de solução de problema antes de executar qualquer uma delas.
- Aplicações:
  - *Planejamento de robôs*: encontrar uma seqüência de movimentos necessários para realização de uma determinada tarefa,
  - *Programação automática*: encontrar uma seqüência de instruções que realize uma determinada tarefa computacional.
  - *Língua natural*: encontrar uma seqüência de expressões que satisfaça o processo de comunicação.
  - *Outros*: planejar experimentos, viagens, etc.

# Vantagens do Planejamento

- *Planejamento* é uma busca por um conjunto de *objetivos* dentro de um *espaço de estados*, tendo por base as *ações* definidas nesse espaço.
- A seqüência de ações para alcançar o conjunto de objetivos, partindo de um estado inicial, é chamada *plano*.
- Vantagens do Planejamento:
  - Redução de busca,
  - Resolução de objetivos conflitantes.

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - **Conceitos**
  - Etapas do Planeamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Espaço de Estados

- Exemplo: o Mundo dos Blocos
- Relações: regras gerais sobre as entidades do espaço.  
Ex: livre (Objeto), sobre (Bloco, Objeto)
- Relacionamentos: instâncias das relações  
Ex: livre (v) ,  
sobre (a, p) ,  
sobre (v, 2)



# Estado

- Estado: é o conjunto de todos os relacionamentos do espaço num dado instante.

Estado E1: livre (1) sobre (v, 2) livre (v)  
livre (3) livre (a) sobre (a, p) sobre (p, 4)

- Estado é uma situação global, relacionamento é uma situação particular.

# Ação

- Ação é um acontecimento que altera o estado atual do espaço.

# Objetivo

- Objetivo é um relacionamento que se deseja realizar (alcançar) no espaço de estados.
- Geralmente, o planejamento é feito tendo em vista um conjunto de objetivos.
- Um conjunto de objetivos é um subconjunto de um estado.
- Vários estados diferentes podem satisfazer um mesmo conjunto de objetivos.

# Planejamento, de novo!

- *Planejamento* é uma busca por um conjunto de *objetivos* dentro de um *espaço de estados*, tendo por base as *ações* definidas nesse espaço.
- Plano: A1, A2, A3 e A4.
- Objetivos: sobre  $(p, a)$  e sobre  $(a, v)$ .

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - **Etapas do Planeamento**
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Etapas do Planeamento

- Escolher as regras (ações) adequadas para que a solução seja encontrada,
- Aplicar a regra (ação) escolhida para originar um novo estado,
- Detectar quando uma solução é encontrada,
- Detectar becos sem saída (*dead ends*) para que eles sejam abandonados durante o planeamento.

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - **Ações**
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Análise de Meios e Fins: Representando Ações

- Para representar uma ação, usa-se três campos descritivos:
  - 1 *Pré-condições* (PC): são todos os relacionamentos que devem existir em um estado (ou conjunto de estados) para que a ação seja realizada.
  - 2 *Adiciona-fatos* (AF): são todos os relacionamentos que passam a fazer parte do estado, após a ação.
  - 3 *Remove-fatos* (RF): são todos os relacionamentos existentes no estado, que deixam de fazer parte do mesmo, depois da ação.



# Análise de Meios e Fins: Representando Ações

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - **Algoritmo**
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- Para resolver um conjunto de objetivos `Objetivos` a partir de um estado `Estado`, chegando a um estado `EstadoFinal`, faça:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- Se todos os relacionamentos em `Objetivos` são verdadeiros em `Estado` então `EstadoFinal=Estado`:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- Se todos os relacionamentos em `Objetivos` são verdadeiros em `Estado` então `EstadoFinal=Estado`:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- Senão siga os passos:
- 1 Selecione um relacionamento `Objetivo` ainda não resolvido em `Objetivos`:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- 2 Encontre uma ação  $A_{\text{ção}}$  que adicione  $Objetivo$  ao estado atual:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

3 Habilite Ação realizando as precondições Condição da Ação, resultando EstInt1:



# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- 3 Execute recursivamente o algoritmo tendo `Condição` como `Objetivos`. O plano resultante é `PrePlano`:

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

- 4 Aplique a Ação ao EstInt1, resultando em EstInt2 (em EstInt2, Objetivo é atendido):

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo

5 **Resolva** `Objetivos` em `EstInt2`, levando a `EstadoFinal`. Esse é outro passo recursivo, cujo plano resultante é `PosPlano`:

# Sumário

- 1 Conceitos Básicos
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 Análise de Meios e Fins
  - Ações
  - Algoritmo
  - **AMF: Algoritmo Completo**
- 3 Proteção e Regressão de Objetivos
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Análise de Meios e Fins: Algoritmo Completo

- Para resolver um conjunto de objetivos `Objetivos` a partir de um estado `Estado`, chegando a um estado `EstadoFinal`, faça:
  - Se todos os relacionamentos em `Objetivos` são verdadeiros em `Estado` então `EstadoFinal=Estado`,
  - Senão siga os passos:
    - 1 Seleccione um relacionamento `Objetivo` ainda não resolvido em `Objetivos`,
    - 2 Encontre uma ação `Ação` que adicione `Objetivo` ao estado atual,
    - 3 Habilite `Ação` realizando as condições `Condição da Ação`, resultando `EstInt1`,
    - 4 Aplique a `Ação` ao `EstInt1`, resultando em `EstInt2` (em `EstInt2`, `Objetivo` é atendido),
    - 5 Resolva `Objetivos` em `EstInt2`, levando a `EstadoFinal`.

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - **Proteção de Objetivos: Limitação da AMF**
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

## Proteção de Objetivos: Limitação da AMF

- Ainda que o mundo dos blocos (MB) aparente ser um problema simples, isso não é verdade.
- A grande dificuldade do MB está na sua alta complexidade devido ao grande número de possíveis combinações.
- Frequentemente, no MB, o planejador tem várias possibilidades de escolha entre diversas ações, e qualquer dessas ações válidas poderia ser escolhida pelo algoritmo de AMF.
- Essa grande variedade de escolha é responsável pelos defeitos do planejador.

## Proteção de Objetivos: Limitação da AMF

- A execução do algoritmo de Análise de Meios e Fins, tendo *Partida* como estado inicial e *sobre*  $(v, p)$ , *sobre*  $(p, a)$  como objetivos, leva ao seguinte plano:



## Proteção de Objetivos: Soluções para AMF

- O problema está no fato de algumas ações desfazerem objetivos já alcançados.
- Percebe-se que a ordem dos objetivos influencia o plano.
- Uma solução é tentar alcançar os objetivos com diversas ordenações.
- Outra solução é criar uma lista de objetivos já alcançados e no momento de escolher a ação, evitar escolher ações que destruam algum objetivo da lista.
- Essa técnica é conhecida como *Análise de Meios e Fins com Proteção de Objetivos*.

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - **Proteção de Objetivos: Algoritmo**
  - Regressão de Objetivos

# Proteção de Objetivos: Algoritmo

- Escolhendo uma ação que não desfaz um objetivo alcançado:

# Sumário

- 1 **Conceitos Básicos**
  - Introdução
  - Conceitos
  - Etapas do Planejamento
- 2 **Análise de Meios e Fins**
  - Ações
  - Algoritmo
  - AMF: Algoritmo Completo
- 3 **Proteção e Regressão de Objetivos**
  - Proteção de Objetivos: Limitação da AMF
  - Proteção de Objetivos: Algoritmo
  - Regressão de Objetivos

# Regressão de Objetivos: Introdução

- Dados:
  - uma lista de objetivos `Objetivos`, válida em algum estado `S`,
  - um estado `S0` imediatamente anterior a `S`,
  - uma ação `A` que leva de `S0` em `S`.
- Pergunta-se: quais objetivos `Objetivos0` devem ser válidos em `S0` para fazer `Objetivos` válidos em `S`?

# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.

# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.

# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.



# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos0` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.

# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.

# Regressão de Objetivos: Processo

- `Objetivos0` deve ter as seguintes propriedades:
  - 1 Possibilitar a ação `A`, ou seja, satisfazer as pré-condições de `A`,
  - 2 Para cada objetivo `M` em `Objetivos0` ou
    - a ação `A` adiciona `M`, ou
    - `M` está em `Objetivos0` e a ação `A` não remove `M`.

## Regressão de Objetivos: Definição

- Dado um conjunto de objetivos `Objetivos` e uma ação `A` que resulta em `Objetivos`, o processo para determinar o conjunto de objetivos `Objetivos0` (tal como definido anteriormente) é chamado *regressão* de `Objetivos` através de `A`.

# Regressão de Objetivos: Algoritmo

- Para resolver um conjunto de objetivos `Objetivos` a partir de um estado `EstadoInicial`, faça:
  - Se `Objetivos` são verdadeiros em `EstadoInicial` então um plano vazio resolve,
  - Senão siga os passos:
    - 1 Seleccione um relacionamento `Objetivo` ainda não resolvido em `Objetivos`,
    - 2 Encontre uma ação `Ação` que adicione `Objetivo`,
    - 3 Faça a regressão de `Objetivos` através de `A`, obtendo `NovosObjetivos`,
    - 4 Ache um plano para chegar a `NovosObjetivos` a partir de `EstadoInicial`.

# Regressão de Objetivos: Observações

- Uma forma de otimizar o algoritmo é não escolher ações que levem a situações impossíveis.
- Exemplo de situações impossíveis: `sobre(v, p)` e `livre(p)`.

## Considerações Finais

- Foram apresentadas idéias básicas de algumas técnicas de planejamento “clássico.”
- Técnicas de planejamento podem ser combinadas com outras técnicas de busca.
- Problemas de planejamento têm, em geral, alta complexidade.

# Referências I



[1] Freitas, R. L.

*Planejamento Apoiado em Inteligência Artificial: Sistemas e Abordagens.*

Dissertação de Mestrado, ICMSC-USP, 1991.



[2] Monard, M. C.

*Planejamento “Clássico”.*

Slides da disciplina SCC630 - Inteligência Artificial. ICMC - USP, 2010.



[3] Rich, E. & Knight, K.

*Inteligência Artificial.*

2a edição, McGraw-Hill, 1994.