

Universidade de São Paulo  
Instituto de Matemática e Estatística  
MAC 5789 - Laboratório de Inteligência Artificial

## Exercício Programa 3: SATPlan

Autor:

Walter Perez Urcia

São Paulo

Maio 2015

## **Resumo**

Neste trabalho o objetivo foi construir um sistema de planejamento clássico do tipo SATPLAN utilizando um SAT-solver. A primeira parte do trabalho consiste em fazer um parser que traduz um problema descrito na linguagem STRIPS para uma CNF que será a entrada para o SAT-solver. A seguinte parte é fazer que o sistema dê uma solução para o problema. Por ultimo decodificar a solução e mostrá-la. A continuação presentamos a implementação, experimentos, resultados e conclusões.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Dados de entrada</b>	<b>5</b>
1.1	Linguagem STRIPS . . . . .	5
1.2	Estado inicial e meta . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Implementação do sistema</b>	<b>6</b>
2.1	Parser de STRIPS para Json . . . . .	7
2.2	Pre processamento . . . . .	7
2.3	Parser de Json para CNF . . . . .	8
2.4	Adicionamento de ações . . . . .	9
2.4.1	Axiomas de precondições . . . . .	9
2.4.2	Axiomas de efeitos . . . . .	9
2.4.3	Axiomas de persistencia . . . . .	9
2.4.4	Axiomas de continuidade . . . . .	10
2.4.5	Axiomas de não paralelismo . . . . .	10
2.5	Interprete de CNF para Json . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Experimentos e resultados</b>	<b>10</b>
3.1	Experimentos com Alpha . . . . .	11
3.1.1	Para distancia . . . . .	11
3.1.2	Para tempo de espera e tempo no elevador . . . . .	12
3.1.3	Para ambos critérios . . . . .	13
3.2	Experimentos com número de iterações . . . . .	14
3.2.1	Para ambos critérios . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>15</b>

## Lista de Figuras

1	Custos com distancia . . . . .	11
2	Tempo com distancia . . . . .	12
3	Custos com tempo de espera e tempo no elevador . . . . .	12
4	Tempo com tempo de espera e no elevador . . . . .	13
5	Custos com ambos critérios . . . . .	13
6	Tempo com ambos critérios . . . . .	14
7	Custos com ambos critérios . . . . .	15
8	Tempo com ambos critérios . . . . .	15

# 1 Dados de entrada

O sistema de planejamento vai receber dois arquivos de entrada. O primeiro é o problema descrito na linguagem STRIPS e o segundo é uma possível situação (com estado inicial e meta) para fazer a busca de solução.

## 1.1 Linguagem STRIPS

O arquivo de entrada com o problema descrito vai ter a seguinte forma:

### Bloco 1: Estrutura de arquivo STRIPS

```
1  ( define ( domain [domain_name] )
2    ( :requirements [list_of_requirements] )
3    ( :types [list_of_types] )
4    ( :predicates
5      [list_of_predicates]
6    )
7    [list_of_actions]
8  )
```

Na linha 1 vai o nome do domínio e na linha 2 uma lista de requerimentos (mas não vai ser usada neste trabalho). As seguinte linhas são as principais para descrever o problema. Linha 3 tem uma lista dos tipos de dados que terá o problema e os tipos que vão receber as ações e fluentes. Por exemplo, para o problema dos blocos (ler [1]) temos:

```
1  ( :types block )
```

Da mesma forma temos a linha 5 no bloco 1 que contem uma lista de fluentes com seus parâmetros e tipos de cada um. Por exemplo para o problema anterior:

### Bloco 2: Lista de fluentes do problema

```
1  ( :predicates
2    ( on ?x - block ?y - block )
3    ( ontable ?x - block )
4    ( clear ?x - block )
5    ( handempty )
6    ( holding ?x - block )
7  )
```

No bloco 3 se mostra a definição da ação *pickup* do problema. Além, cada ação sempre vai ter uma lista de parâmetros com seus tipos, seus precondições e seus efeitos. Por último, a lista de ações vai na linha 7 no bloco 1.

### Bloco 3: Descrição de ação

```
1  ( :action pick-up
2    :parameters ( ?x - block )
3    :precondition ( and
4      ( clear ?x )
5      ( ontable ?x )
```

```

6      ( handempty )
7    )
8    :effect ( and
9      ( not ( ontable ?x ) )
10     ( not ( clear ?x ) )
11     ( not ( handempty ) )
12     ( holding ?x )
13   )
14 )

```

## 1.2 Estado inicial e meta

Como se mostrou em 1.1 se tem fluentes. Estas fluentes vai ser usadas para definir o estado inicial e a meta. Por exemplo para o problema dos blocos podemos ter:

Bloco 4: Archivo com estado inicial e meta

```

1  # Estado inicial
2  clear_a ; clear_b ; ontable_a ; ontable_b ; handempty
3  # Meta
4  on_a_b

```

As linhas 1 e 3 são só referenciáveis e não ter que estar no arquivo de entrada. Com ambos arquivos o sistema tem que dar uma solução. A continuação se explicará a implementação do sistema de planeamento.

## 2 Implementação do sistema

Os pasos para fazer o sistema de planeamento clássico (implementado em python) são os seguintes:

- Parser de STRIPS para Json
- Pre processamento do arquivo com o estado inicial e a meta
- Parser de Json para CNF
- Adicionamento de ações (aumento em tamanho do plano de solução)
- Interprete de CNF para Json

O pseudocódigo 5 mostra o algoritmo usado pelo sistema de planeamento para a busca de solução para um problema dado.

Pseudocódigo 5: Algoritmo de busca

```

1  Function Solve
2    While true
3      Add axioms for one more action
4      cnf = generate CNF
5      model = sat solver( cnf )
6      If model exists then
7        Sol = extract solution
8      break

```

```

9      End If
10     End While
11     Return Sol
12 End Function

```

As linhas 3, 4 e 7 serão explicadas em 2.4, 2.3 e 2.5 respectivamente. Além, o SAT-solver da linha 5 já está implementado e só será usado. Toda a implementação está no arquivo *solver.py*

## 2.1 Parser de STRIPS para Json

O arquivo STRIPS tem uma estrutura que é muito difícil de usar para fazer cálculos e operações, ainda pior de mudar para CNF diretamente. Mas é possível obter todas as partes necessárias usando expressões regulares e mudar para o padrão Json que tem a forma de um dicionário e é mais fácil de usar. A figura 6 mostra o método principal do parser que recebe o arquivo STRIPS.

Código 6: Parser STRIPS/Json

```

1 def convertToJson( filename ) :
2     s = open( filename , 'r' ).read()
3     for ( original , replaceable ) in REPLACEABLE_WORDS.iteritems() :
4         s = s.replace( original , replaceable )
5     lst = {}
6     for ( pattern , key ) in EXTRACT_RULES.iteritems() :
7         matches = extractMatches( pattern , s )
8         lst[ key ] = curateFunctions[ key ]( matches )
9     newname = os.path.splitext( filename )[ 0 ] + '.json'
10    with open( newname , 'w' ) as jsonfile :
11        json.dump( lst , jsonfile , indent = 4 , sort_keys = True )
12    return lst

```

Primeiro são substituídas algumas cadeias para fazer mais fácil a extração de cada uma das partes e depois executa a função *curateFunctions* respectiva para cada parte (ações, fluentes, tipos, etc.). Por último, salva o novo objeto json em um arquivo para não ter que ler o arquivo STRIPS outra vez. Esta função está no arquivo *converter.py* e as funções de extração para cada parte estão no arquivo *extractor.py*.

## 2.2 Pre processamento

O pre-processamento tem os seguintes passos:

- Obter o estado inicial e a meta
- Obter todas as variáveis do problema
- Avaliar as fluentes e as ações com as variáveis encontradas
- Adicionar ao estado inicial os fluentes não especificadas no arquivo
- Identificar para cada ação os fluentes que não são afetados por ela

Os primeiros dois passos agora são mais fáceis porque já temos o parser de 2.1 e cada fluente está separado pelo caracter ";" uma de outra. Além, as variáveis sempre estão separadas pelo caracter "\_". Para poder fazer o seguinte passo temos a função no código 7.

Código 7: Função que avalia com as variáveis encontradas

```

1 def evaluateWith( self , prop , isAction = False , variables = None ) :
2     if variables == None : variables = self.var
3     if isAction :
4         # Preprocess action
5         lst = self.addVariable( prop.copy() , variables , isAction )
6     if not isAction :
7         # Post process fluent
8     else :
9         # Post process action
10    return lst

```

Na linha 5 é uma função recursiva que adiciona um valor a uma variável em cada chamada. No caso dos fluentes só tem que ser substituídos seus parâmetros com alguns valores, mas para as ações também tem que ser substituídas os valores para seus precondições e efeitos.

O passo 4 é verificar quais fluentes do problema não estão no estado inicial e adicionar seus negações, ou seja, para o fluente  $P$  que não está no estado inicial, adicionar  $\neg P$ .

Por último, para cada ação verificar quais fluentes não são afetadas por ela para ter essa informação ao momento de gerar o arquivo CNF.

## 2.3 Parser de Json para CNF

Para gerar o CNF a partir de Json temos que definir uma forma de levar uma ação o fluente a uma representação numérica. Depois de fazer o pre-processamento já temos todos os fluentes e ações avaliadas para todas as combinações das variáveis, então se dizemos que  $N_f$  = número de fluentes e  $N_a$  = número de ações, então temos que o número total de proposições ao inicio será  $total = N_f + N_a$ . Além, fluentes vai ter um ID de 1 a  $N_f$  e as ações de  $N_f + 1$  a  $N_f + N_a - 1$ , mas isto já não vai cumprir para um tamanho do plano mais grande. Então sabemos que o tempo em que ocorre a proposição é importante para dar um ID único, então para qualquer proposição temos que a seguinte função da sua representação numérica.

$$ID = prop.time * total + pos$$

Onde pos será sua posição na lista de fluentes ou na lista de ações dependendo do tipo de proposição. A função no código 8 faz o que queremos obter.

Código 8: Função para obter representação numérica de uma proposição

```

1 def getID( self , prop ) :
2     if prop == None : return ''

```



```

3   time = prop[ 'time' ]
4   pos = 0
5   if prop[ 'isaction' ] :
6       pos = getAllValues( self.actions , 'name' ).index( prop[ 'name' ] )
7       pos += self.idactions
8   else :
9       pos = self.predicates.index( prop[ 'name' ] )
10      pos += self.idpredicates
11      ID = pos + time * self.total
12      if not prop[ 'state' ] : ID = -ID
13      return ID

```

Uma vez que temos uma forma de obter um identificador para cada proposição podemos gerar o arquivo CNF para cada tipo de cláusula no problema: estado inicial, axiomas e meta. Por cada fluente no estado inicial vamos ter uma linha no arquivo CNF com seu ID para o tempo 0. Da mesma forma para cada fluente na meta, mas estas vão ter tempo  $n$  (tamanho do plano). Por último, os axiomas são da forma  $A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_k \rightarrow B$  (com  $k \geq 1$ ). Cada axioma é mudado para a forma  $\neg A_1 \vee \neg A_2 \vee \dots \vee \neg A_k \vee B$  e colocado no arquivo CNF.

## 2.4 Adicionamento de ações

Em cada iteração do algoritmo de busca especificado ao início da seção 2 vai ser adicionados axiomas (cláusulas) para todas as possíveis ações que existem no problema.

Na definição dada no bloco 3 na subseção 1.1 temos que cada ação tem precondições e efeitos.

### 2.4.1 Axiomas de precondições

Se dizemos que  $Pre(A)^t$  é a conjunção das precondições de  $A^t$  então para cada ação adicionamos axiomas da forma  $A^t \rightarrow P_i^t$  (com  $P_i^t \in Pre(A)^t$ ). Por ser precondições sempre ter que ser ao mesmo tempo da ação.

### 2.4.2 Axiomas de efeitos

Se dizemos que  $Eff(A)^{t+1}$  é a conjunção dos efeitos de  $A^t$  então para cada ação adicionamos axiomas da forma  $A^t \rightarrow P_i^{t+1}$  (com  $P_i^{t+1} \in Eff(A)^{t+1}$ ). Como são efeitos de uma ação, os fluentes ocorreram no seguinte instante de tempo.

### 2.4.3 Axiomas de persistencia

Para cada ação existem fluentes que não são afetadas por ela. Se dizemos  $Pers(A)^t$  é a conjunção dessas fluentes para  $A^t$ , então temos que adicionar dois axiomas:

- $(P_i^t \wedge A^t) \rightarrow P_i^{t+1}$
- $(\neg P_i^t \wedge A^t) \rightarrow \neg P_i^{t+1}$

#### 2.4.4 Axiomas de continuidade

Para cada instante de tempo sempre deve ser executada alguma ação e portanto temos que adicionar o axioma:  $A_1^t \vee A_2^t \vee \dots \vee A_{N_a}^t$

#### 2.4.5 Axiomas de não paralelismo

O axioma anterior permite que se façam mais de uma ação por instante de tempo, mas isso não é possível para solucionar o problema, então para cada par de ações adicionamos:  $\neg A_i^t \vee \neg A_j^t$ , para  $i \neq j$ .

Adicionar todos os axiomas anteriores garantir que sempre se execute uma ação e só uma. Além, que sempre será executada uma ação que cumpre seus precondições e por último estende seus efeitos ao próximo instante de tempo.

### 2.5 Interprete de CNF para Json

Por último, uma vez encontrado uma solução com o SAT-solver temos que voltar do arquivo CNF com representações numéricas para as representações literais das ações e fluentes. Para isso, só temos que fazer o contrario que está especificado em 2.3 para cada proposição que foi verdadeira em cada instante de tempo. O código 9 mostra a implementação desta ideia.

Código 9: Obtenção do representação literal

```
1  getProposition( self , ID ) :
2      isnegation = False
3      if ID < 0 :
4          isnegation = True
5          ID = -ID
6      pos = ( ID % self.total ) - 1
7      resp = ''
8      if pos >= len( self.predicates ) :
9          pos -= len( self.predicates )
10         resp = self.actions[ pos ][ 'name' ]
11     else :
12         resp = self.predicates[ pos ]
13     resp = ( "~" if isnegation else "" ) + resp
14     return resp
```

A função anterior calcula o resíduo de ID com o total de proposições e determina se é uma ação ou uma fluente, depois retorna a representação literal dependendo o caso. Com isto já se pode salvar um arquivo com as ações e fluentes para cada instante de tempo no plano de solução onde cada duas linhas representam um instante, sendo a primeira fluentes verdaderos e a segunda a ação executada.

## 3 Experimentos e resultados

O algoritmo implementado é dependente principalmente de dois parâmetros: alpha e número de iterações, por o que foram feitos alguns experimentos para saber quais

são os melhores valores para cada um. Para fazer os experimentos foi gerado um arquivo de entrada com os seguintes parâmetros:

- $N = 50$
- $M = 50$
- $T = 50$
- $max_{NC} = 20$

Os experimentos foram feitos para os tres critérios mencionados em ?? e para todos os casos os elevadores tem capacidade 20. Os tempos de execução e os custos são comparados em cada um. Finalmente, a quantidade de execuções por experimento é 20 para todos os experimentos.

### 3.1 Experimentos com Alpha

Os experimentos nesta secção variaram o valor de alpha de 0.05 a 0.95 e tinham o valor de número de iterações igual a 100 para cada um dos tipos de custo. A continuação os resultados.

#### 3.1.1 Para distancia

A figura 1 mostra que o melhor valor tendo como custo a distancia (ou percurso total dos elevadores) é  $\alpha = 0.45$ . Além, tem um dos melhores tempos de execução como se mostra na figura 2

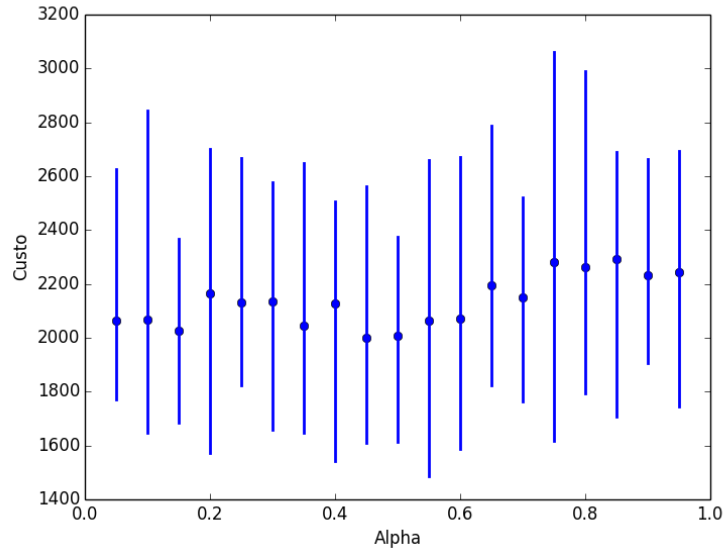


Figura 1: Custos com distancia

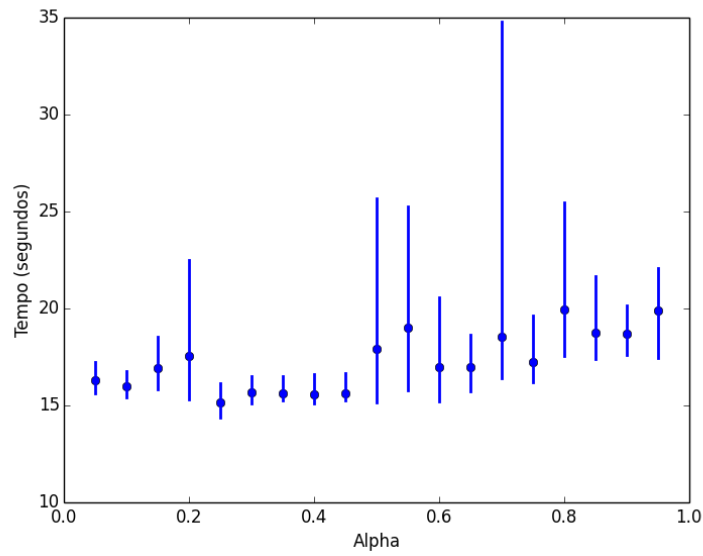


Figura 2: Tempo com distancia

### 3.1.2 Para tempo de espera e tempo no elevador

Neste experimento o melhor valor para alpha é  $\alpha = 0.25$  como mostra a figura [fig:costwaitingalpha](#) e tem um bom tempo de execução comparado com os demais.

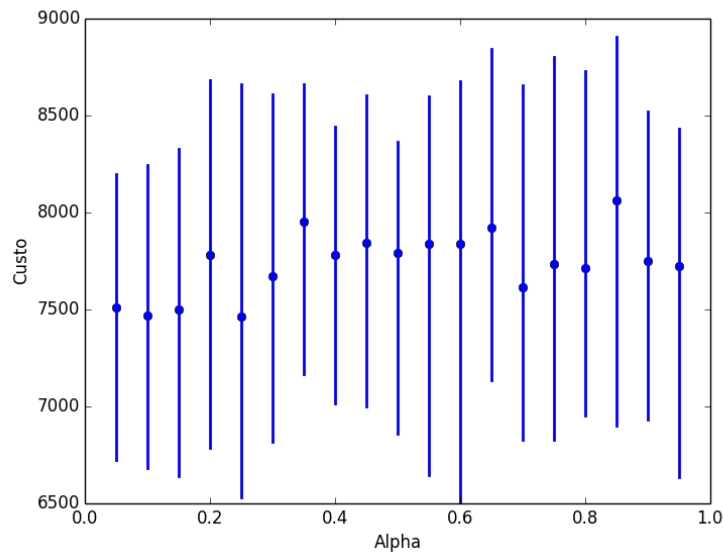


Figura 3: Custos com tempo de espera e tempo no elevador

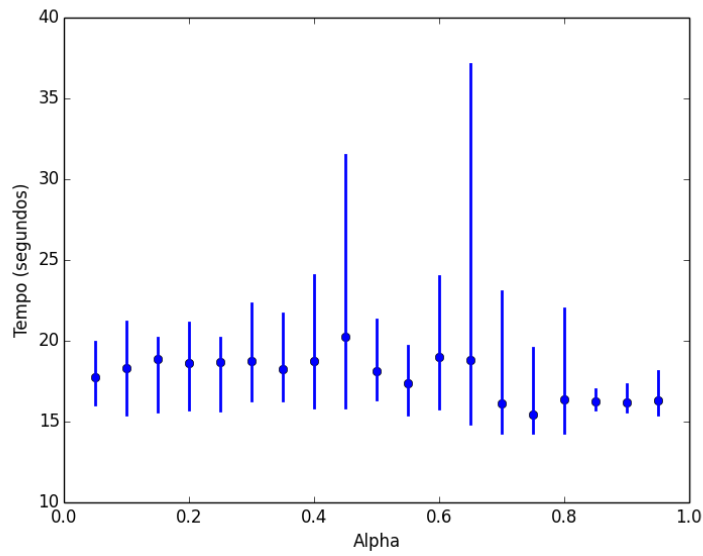


Figura 4: Tempo com tempo de espera e no elevador

### 3.1.3 Para ambos critérios

Por último, a figura 5 mostra que o melhor valor para usar com ambos critérios para calculo de custo é  $\alpha = 0.4$  porque tem o menor valor para custo e também a melhor media, mas tem um dos maiores tempos de execução em promedio (ver figura 6).

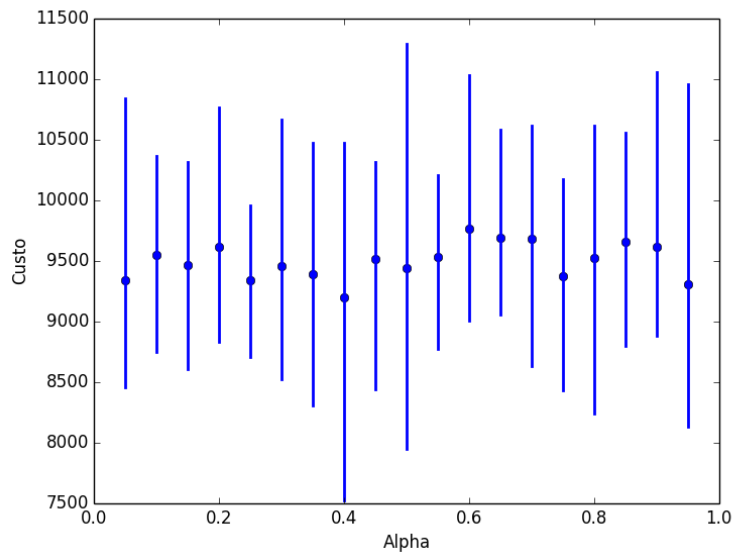


Figura 5: Custos com ambos critérios

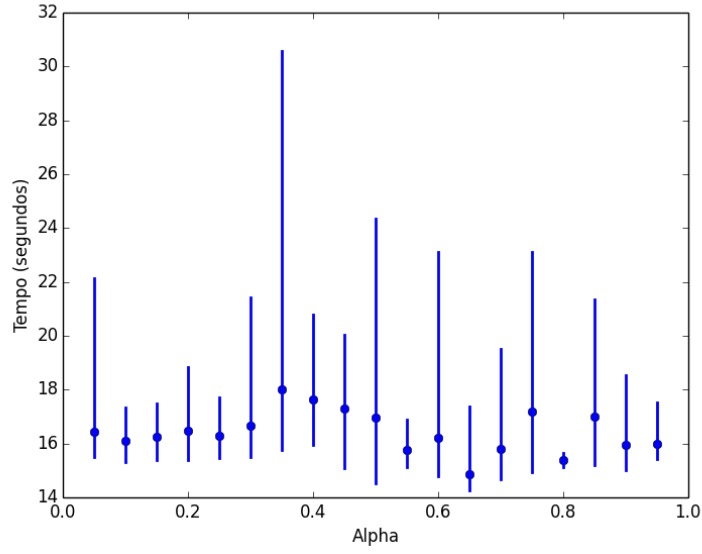


Figura 6: Tempo com ambos critérios

## 3.2 Experimentos com número de iterações

Da mesma forma que em 3.1 temos experimentos com o número de iterações, esta vez os valores de número de iterações variaram de 100 a 1000. Além, o valor de alpha foi o melhor valor resultado dos experimentos 3.1. A continuação os resultados.

### 3.2.1 Para ambos critérios

Por último, a figura 7 mostra que o melhor valor para usar com ambos critérios para calculo de custo é número de iterações igual a 500, mas os valores para todos os casos não são muito diferentes. Além, o tempo de execução é consideravelmente maior cada vez que o número de iterações é maior.

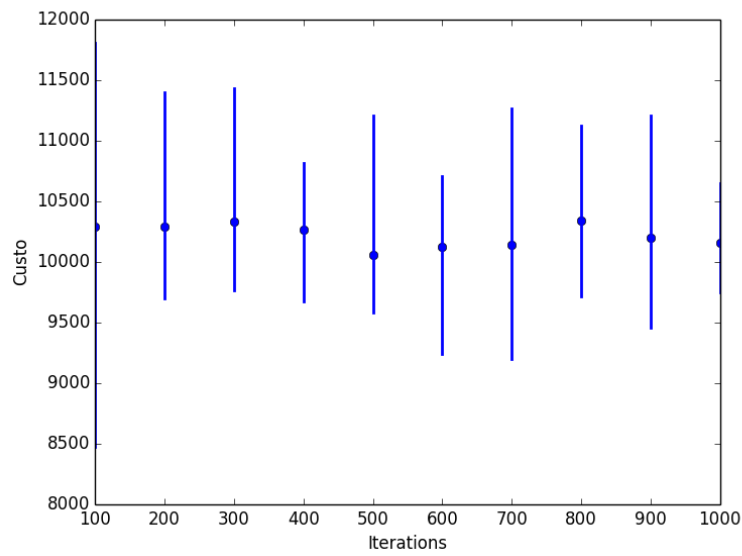


Figura 7: Custos com ambos critérios

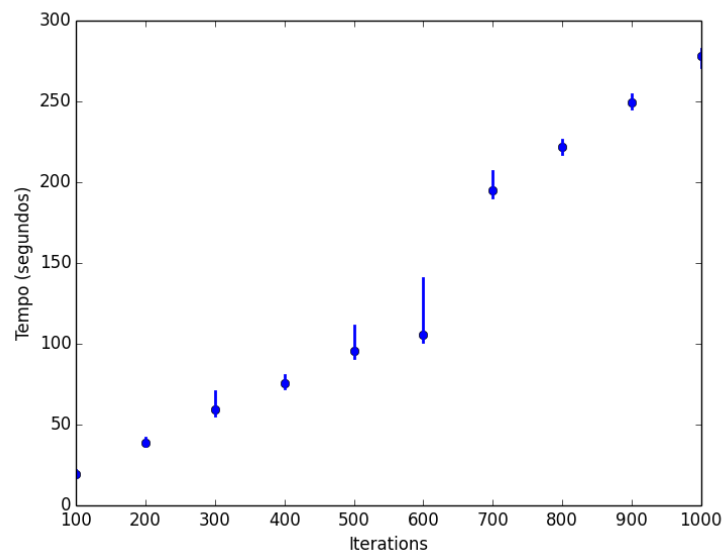


Figura 8: Tempo com ambos critérios

## 4 Conclusões

Pode-se concluir que:

- O valor de  $\alpha$  não é irrelevante para o tempo de execução, mas o número de iterações se é muito importante

- Com valores maiores para o número de iterações os resultados não variam muito, só adiciona tempo de execução
- Ao ter partes aleatorias o algoritmo não sempre dá uma solução muito ótima
- Os valores ótimos para el calculo de custo com percurso total dos elevadores são  $\alpha = 0.45$
- Os valores ótimos para el calculo de custo com tempo de espera e tempo no elevador são  $\alpha = 0.25$
- Os valores ótimos para el calculo de custo com ambos critérios anteriores são  $\alpha = 0.4$  e número de iterações igual a 500



## Referências

- [1] Leliane Nunes de Barros. Planejamento clássico como um problema SAT, 2015.