

Dissertação de Mestrado



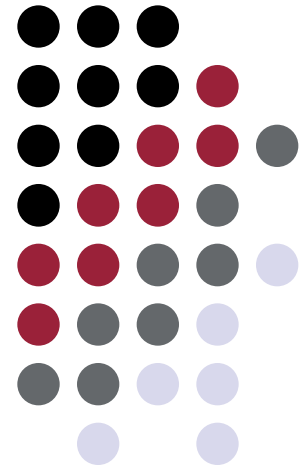
UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

Métodos de Busca Heurística para Problemas de Programação de Horários Modelados em XHSTT



Aluno	George H. G. Fonseca
Orientador	Haroldo G. Santos, PhD
Coorientador	Túlio A. M. Toffolo, MSc

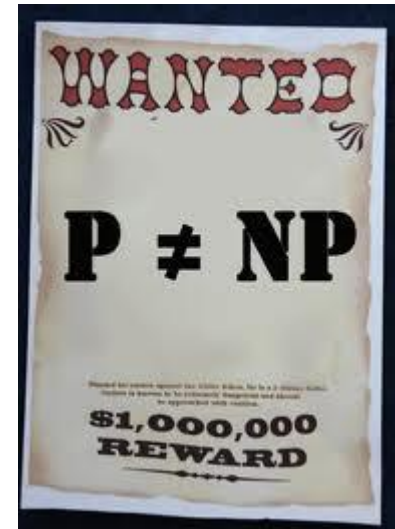




- Introdução
- Problema da Programação de Horários
- Técnicas Heurísticas
- Experimentos Computacionais
- Considerações Finais



- Alvo de diversas pesquisas
 - Dificuldade de resolução
 - Importância prática
 - Importância teórica





- Competições Internacionais
 - ITC2003
 - ITC2007
 - ITC2011-12

Problema da Programação de Horários Escolares



- Modelo da ITC2011-12
 - Aborda várias particularidades do problema
- Entidades
 - Horários
 - Recursos
 - Eventos



Problema da Programação de Horários Escolares



- Restrições
 - Agendamento
 - Assign Times
 - Assign Resources
 - Prefer Times
 - Prefer Resources



Problema da Programação de Horários Escolares



- Restrições

- Eventos

- Link Events
 - Spread Events
 - Avoid Split Assignments
 - Distribute Split Events
 - Split Events



Problema da Programação de Horários Escolares



- Restrições
 - Recursos
 - Avoid Clashes
 - Avoid Unavailable Times
 - Limit Workload
 - Limit Idle / Busy Times
 - Cluster Busy Times



Problema da Programação de Horários Escolares



- Função Objetivo
 - Factibilidade
 - Qualidade



Problema da Programação de Horários Escolares



- Formato XHSTT

```
<HighSchoolTimetableArchive>
  <Instances>
    <Instance Id="Sudoku4x4">
      <Times>
        ...
      </Times>
      <Resources>
        ...
      </Resources>
      <Events>
        ...
      </Events>
      <Constraints>
        ...
      </Constraints>
    </Instance>
  </Instances>
  <SolutionGroups>
    ...
  </SolutionGroups>
</HighSchoolTimetableArchive>
```

Problema da Programação de Horários Escolares



- ITC2011-12

Número	Nome do projeto	País	Registro	Esforço estimado
1	Ying	China	Out 11, 2011	Desconhecido
2	HSU	Alemanha	Out 13, 2011	Desconhecido
3	Borburata	Venezuela	Out 14, 2011	Desconhecido
4	Bond	Canadá	Out 17, 2011	10 – 50 dias
5	Optable	Brasil	Nov 1, 2011	Desconhecido
6	Agata	Brasil	Nov 25, 2011	50 – 100 dias
7	Aziz	Malásia	Jan 7, 2012	50 – 100 dias
8	HST	Polônia	Jan 7, 2012	50 – 100 dias
9	VAGOS	Grécia	Jan 23, 2012	10 – 50 dias
10	Join	Índia	Fev 2, 2012	< 10 dias
11	Lectio	Dinamarca	Fev 12, 2012	> 100 dias
12	Saman	Sri Lanka	Fev 19, 2012	Desconhecido
13	DarwinEd	Chile	Fev 23, 2012	< 10 dias
14	GOAL	Brasil	Fev 24, 2012	> 100 dias
15	HySST	Reino Unido	Mar 6, 2012	10 – 50 dias
16	HFT	Alemanha	Abr 18, 2012	> 100 dias
17	Aspen	Estados Unidos	Abr 20, 2012	< 10 dias

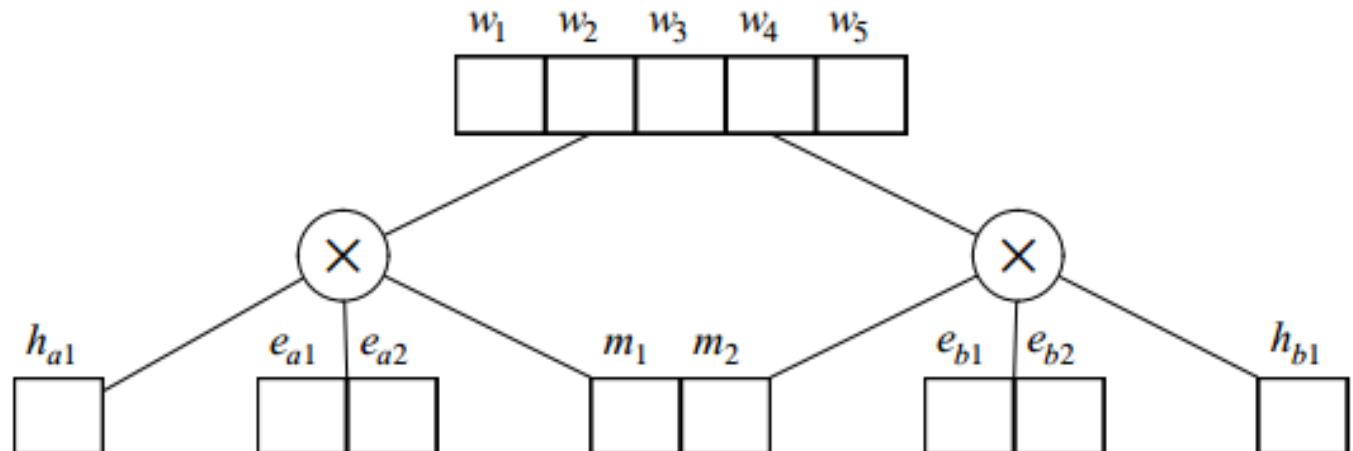


Técnicas Heurísticas Abordadas



- Método Construtivo

- KHE
 - Layer tree
 -



Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Event swap

Mo	Tu	We	Th	Fr
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T4-S1
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T1-S1
T7-S1	T3-S1	T6-S1	T4-S1	T1-S1
T6-S1	T8-S1	T6-S1	T4-S1	T2-S1
T6-S1	T8-S1	T2-S1	T1-S1	T2-S1



Mo	Tu	We	Th	Fr
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T4-S1
T7-S1	T2-S1	T7-S1	T3-S1	T1-S1
T7-S1	T3-S1	T6-S1	T4-S1	T1-S1
T6-S1	T8-S1	T6-S1	T4-S1	T2-S1
T6-S1	T8-S1	T2-S1	T1-S1	T2-S1

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Event move

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S3	T1-S3
			T1-S3	T1-S1
			T1-S2	T1-S1
			T1-S2	
		T1-S2	T1-S1	



Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S3	T1-S3
			T1-S3	T1-S1
			T1-S2	T1-S1
			T1-S2	T1-S2
			T1-S1	

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Event block move

Mo	Tu	We	Th	Fr
T7-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T4-S1
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T1-S1
T3-S1	T3-S1	T6-S1	T4-S1	T1-S1
T6-S1	T8-S1	T6-S1	T4-S1	T2-S1
T6-S1	T8-S1	T2-S1	T1-S1	T2-S1



Mo	Tu	We	Th	Fr
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T4-S1
T3-S1	T2-S1	T7-S1	T7-S1	T1-S1
T7-S1	T3-S1	T6-S1	T4-S1	T1-S1
T6-S1	T8-S1	T6-S1	T4-S1	T2-S1
T6-S1	T8-S1	T2-S1	T1-S1	T2-S1

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Resource swap

Mon	Tue	Wed
RA-4A Class: 4A Teacher: Grigi	SC-3A Class: 3A Teacher: Bianchi	IN-3A Class: 3A Teacher: Verdi
RA-3A Class: 3A Teacher: Grigi	MA-3A Class: 3A Teacher: Azzurri	FR-3A Class: 3A Teacher: Arancioni
Ner-DD Teacher: Neri	RA-5A Class: 5A Teacher: Grigi	IT-5A Class: 5A Teacher: Viola



Mon	Tue	Wed
RA-4A Class: 4A Teacher: Bianchi	SC-3A Class: 3A Teacher: Grigi	IN-3A Class: 3A Teacher: Verdi
RA-3A Class: 3A Teacher: Grigi	MA-3A Class: 3A Teacher: Azzurri	FR-3A Class: 3A Teacher: Arancioni
Ner-DD Teacher: Neri	RA-5A Class: 5A Teacher: Grigi	IT-5A Class: 5A Teacher: Viola

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Resource move

Bianchi

Mon	Tue	Wed
RA-4A Class: 4A Teacher:	SC-3A Class: 3A Teacher: Grigi	IN-3A Class: 3A Teacher: Verdi
RA-3A Class: 3A Teacher: Grigi	MA-3A Class: 3A Teacher: Azzurri	FR-3A Class: 3A Teacher: Arancioni
Ner-DD Teacher: Neri	RA-5A Class: 5A Teacher: Grigi	IT-5A Class: 5A Teacher: Viola

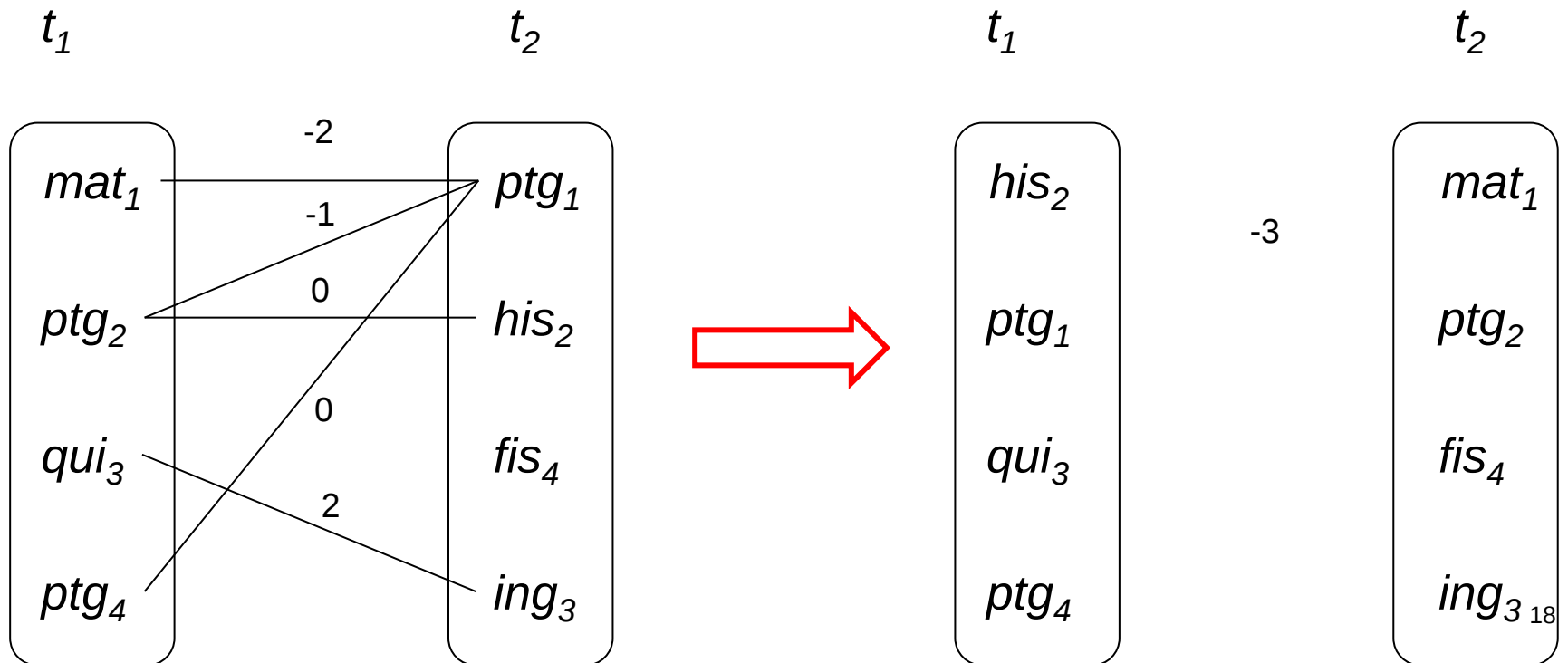


Mon	Tue	Wed
RA-4A Class: 4A Teacher: Bianchi	SC-3A Class: 3A Teacher: Grigi	IN-3A Class: 3A Teacher: Verdi
RA-3A Class: 3A Teacher: Grigi	MA-3A Class: 3A Teacher: Azzurri	FR-3A Class: 3A Teacher: Arancioni
Ner-DD Teacher: Neri	RA-5A Class: 5A Teacher: Grigi	IT-5A Class: 5A Teacher: Viola

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Kempe move



Técnicas Heurísticas Abordadas



- Estrutura de vizinhança
 - Permut resources

T1

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S3	T1-S1
			T1-S2	



Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S3	T1-S2
			T1-S1	

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S1	T1-S3
			T1-S2	

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S2	T1-S1
			T1-S3	

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S2	T1-S3
			T1-S1	

Mo	Tu	We	Th	Fr
			T1-S1	T1-S2
			T1-S3	

Técnicas Heurísticas Abordadas

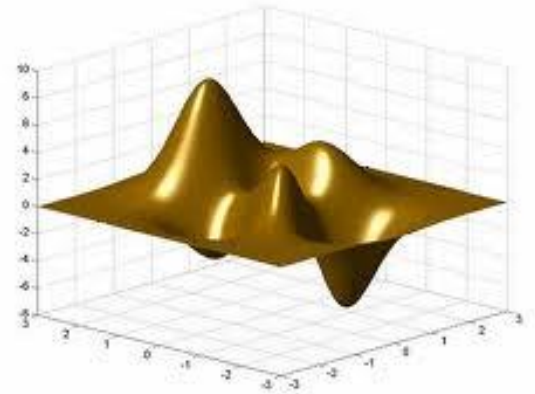


- Estrutura de vizinhança
 - Denotemos $N(s)$ a vizinhança completa e $N_k(s)$ a vizinhança a respeito do tipo de movimento k
 - Seleciona-se um movimento k em $N(s)$ de acordo com as seguintes probabilidades
 - ES = 0.20 0.40
 - EM = 0.38 0.38
 - EBM = 0.10 0.20
 - RS = 0.20 -
 - RM = 0.10 -
 - KM = 0.02 0.02
 - Posteriormente os elementos a serem usados no movimento são escolhidos sob uma distribuição uniforme

Técnicas Heurísticas Abordadas



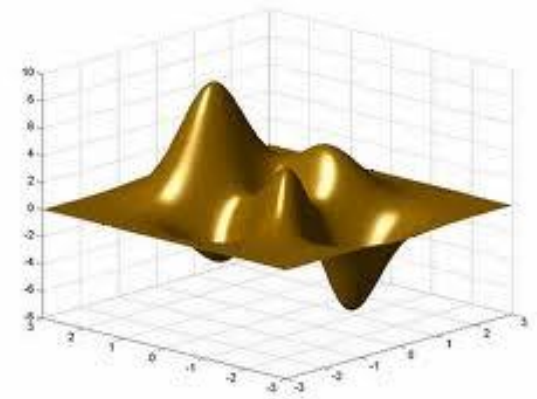
- Métodos de Busca Local
 - Método Não Ascendente Randômico
 - Gera-se um vizinho $s' \in N(s)$
 - Se $f(s') \leq f(s)$, s' passa a ser a solução corrente
 - Apenas sub-rotina para metaheurísticas



Técnicas Heurísticas Abordadas



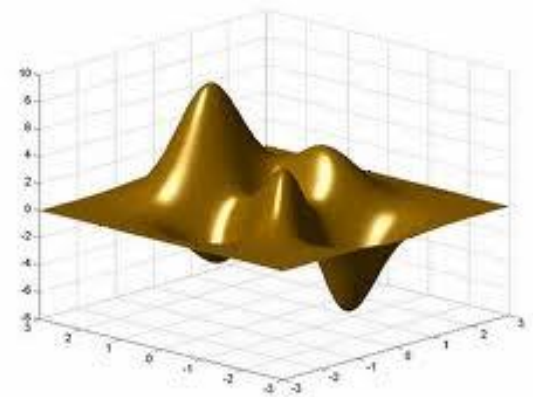
- Métodos de Busca Local
 - Simulated Annealing
 - Aceita vizinho (ou não) de acordo com uma dada “temperatura” T
 - Maior chance de aceitar vizinhos piores no começo da busca, onde a temperatura é alta
 - Quando $T \rightarrow 0$, atua como método de descida



Técnicas Heurísticas Abordadas



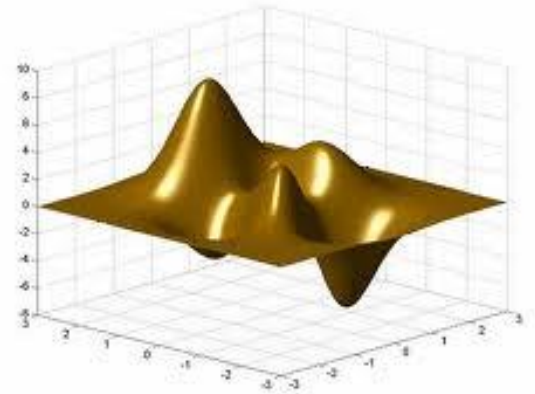
- Métodos de Busca Local
 - Iterated Local Search
 - Perturbações cada vez maiores na solução seguidas de busca local para corrigi-las
 - E possivelmente escapar de ótimos locais
 - Perturbação é dada por $N_k(s)$, sendo $k = \text{PR}$ ou $k = \text{KM}$



Técnicas Heurísticas Abordadas



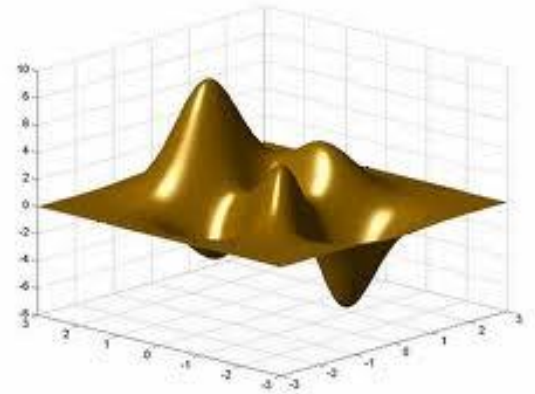
- Métodos de Busca Local
 - Late Acceptance Hill Climbing
 - Armazena-se uma lista l_i de fitness da solução corrente na iteração i
 - Compara-se um vizinho $s' \in N(s)$ com o valor armazenado em l_i , vigente a $||$ iterações



Técnicas Heurísticas Abordadas



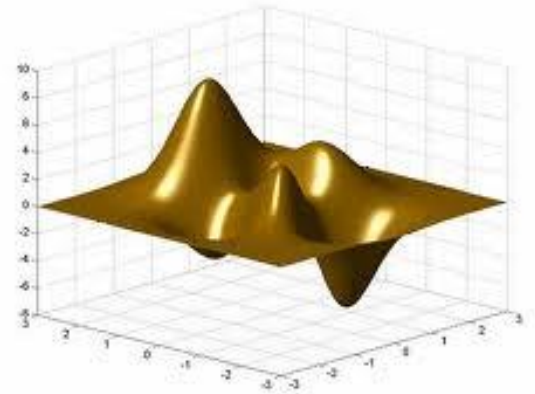
- Métodos de Busca Local
 - Variable Neighborhood Search
 - A cada iteração uma classe k de vizinhança é selecionada
 - Gera-se um vizinho $s' \in N_k(s)$ e executa-se o método não ascendente randômico sobre o mesmo gerando s''
 - Note que s' pode ser pior que s porém s'' pode ainda ser melhor que s



Técnicas Heurísticas Abordadas



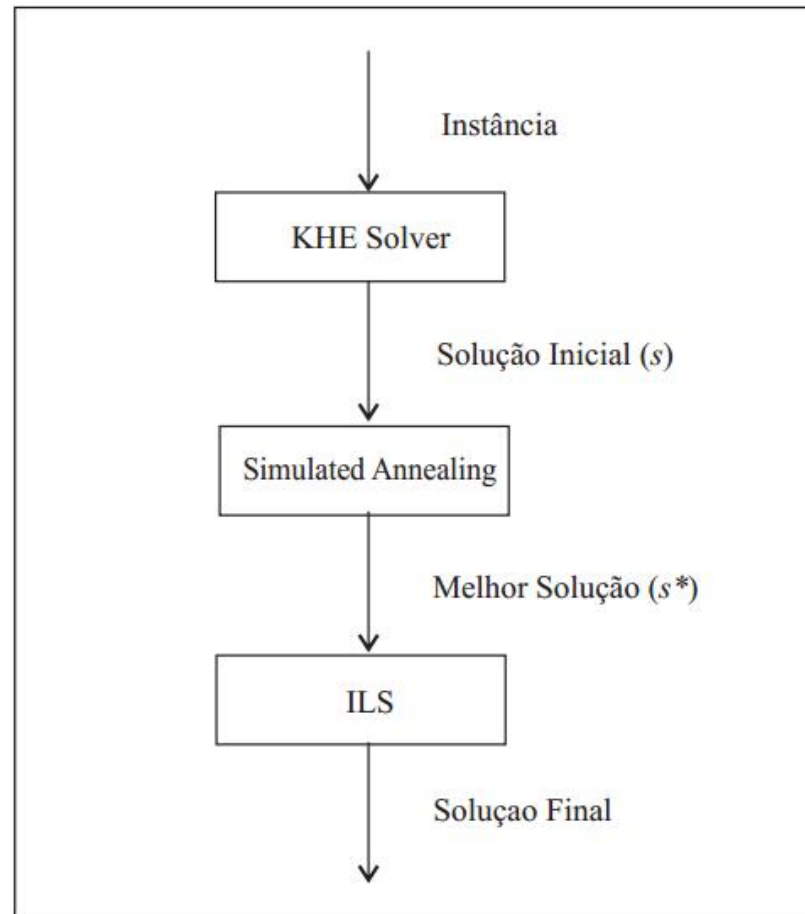
- Métodos de Busca Local
 - Variable Neighborhood Search (Variações)
 - Reduced (RVNS) – sem a fase de descida (método não ascendente randômico)
 - Decomposition (VDNS) – fase de descida considera um valor de k por iteração
 - Skewed (SVNS) – s'' pode ainda ser aceito caso não seja $\alpha\%$ distante de s



Técnicas Heurísticas Abordadas



- Resolvedor submetido à ITC2011-12



Experimentos Computacionais



- Intel i5 2.4Ghz - 4GB RAM – Ubuntu 11.0
 - C++ GCC4.6.1
- Benchmark



Experimentos Computacionais

Instâncias públicas



Instância	Timeslots	Professores	Salas	Classes	Duração
<i>AustraliaBGHS98</i>	40	56	45	30	1564
<i>AustraliaSAHS96</i>	60	43	36	20	1876
<i>AustraliaTES99</i>	30	37	26	13	806
<i>BrazilInstance1</i>	25	8		3	75
<i>BrazilInstance4</i>	25	23		12	300
<i>BrazilInstance5</i>	25	31		13	325
<i>BrazilInstance6</i>	25	30		14	350
<i>BrazilInstance7</i>	25	33		20	500
<i>EnglandStPaul</i>	27	68	67	67	1227
<i>FinlandArtificialSchool</i>	20	22	12	13	200
<i>FinlandCollege</i>	40	46	34	31	854
<i>FinlandHighSchool</i>	35	18	13	10	297
<i>SecondarySchool</i>	35	25	25	14	306
<i>GreeceHighSchool1</i>	35	29		66	372
<i>GreecePatras3rdHS2010</i>	35	29		84	340
<i>GreecePreveza3rdHS2008</i>	35	29		68	340
<i>ItalyInstance1</i>	36	13		3	133
<i>NetherlandsGEPRO</i>	44	132	80	44	2675
<i>NetherlandsKottenpark2003</i>	38	75	41	18	1203
<i>NetherlandsKottenpark2005</i>	37	78	42	26	1272
<i>SouthAfricaLewitt2009</i>	148	19	2	16	838

Experimentos Computacionais

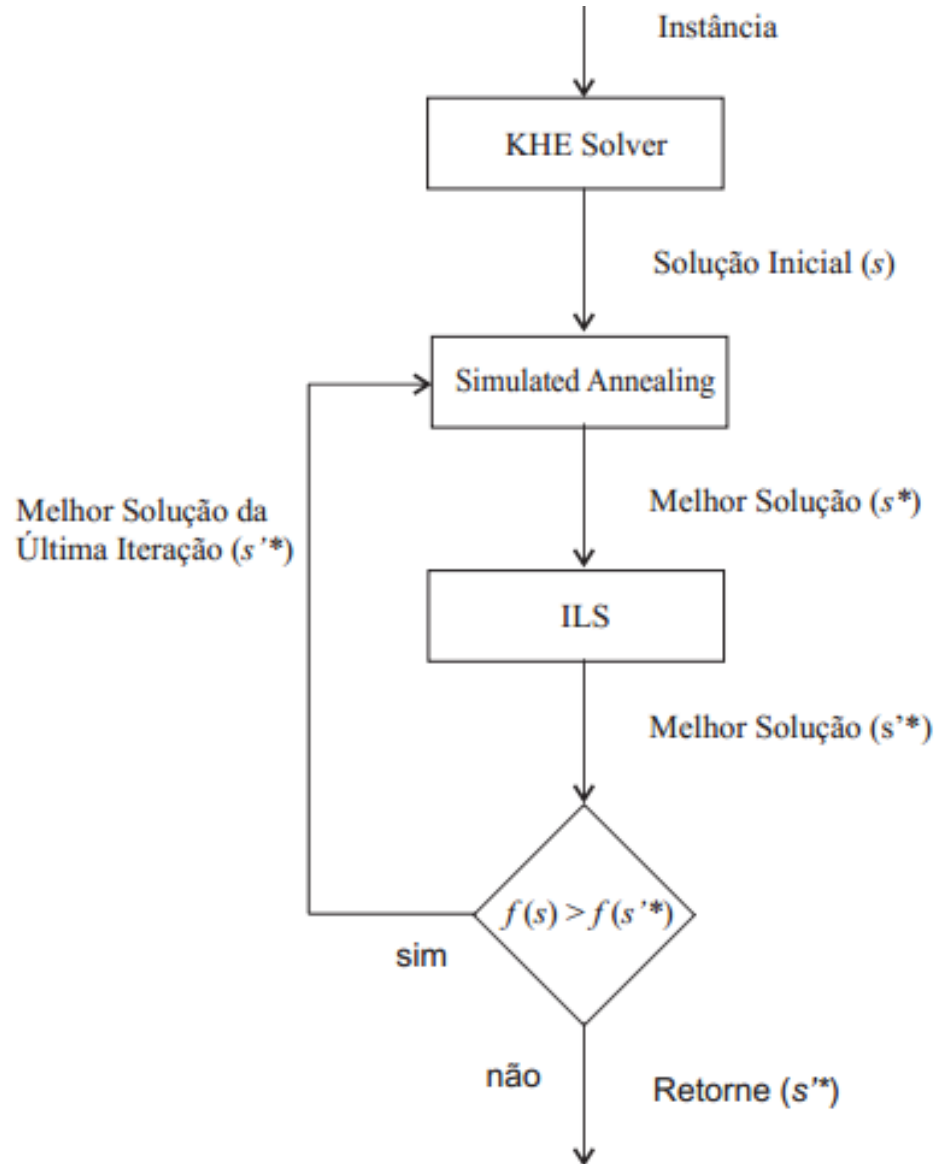
Instâncias ocultas



Instância	Times	Professores	Salas	Classes	Duração
<i>BrazilInstance2</i>	25	14		6	150
<i>BrazilInstance3</i>	25	16		8	200
<i>BrazilInstance4</i>	25	23		12	300
<i>BrazilInstance6</i>	25	30		14	350
<i>FinlandElementarySchool</i>	35	22	21	291	445
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	40	22	21	469	566
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	35	37		208	532
<i>Italy_Instance4</i>	36	61		38	1101
<i>KosovaInstance1</i>	62	101		63	1912
<i>Kottenpark2003</i>	38	75	41	18	1203
<i>Kottenpark2005A</i>	37	78	42	26	1272
<i>Kottenpark2008</i>	40	81	11	34	1118
<i>Kottenpark2009</i>	38	93	53	48	1301
<i>Woodlands2009</i>	42	40			1353
<i>Spanishschool</i>	35	66	4	21	439
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	35	19		6	210
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	35	19		12	262
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	35	18		6	184

Experimentos Computacionais

Primeira Fase ITC2011-12



Experimentos Computacionais

Primeira Fase ITC2011-12



Instância	ITC $f(s_*)$	GOAL $f(s_*)$
<i>AustraliaBGHS98</i>	7 / 433	4 / 367
<i>AustraliaSAHS96</i>	23 / 44	10 / 12
<i>AustraliaTES99</i>	26 / 134	5 / 148
<i>BrazilInstance1</i>	0 / 24	0 / 15
<i>BrazilInstance4</i>	0 / 112	0 / 103
<i>BrazilInstance5</i>	0 / 225	0 / 198
<i>BrazilInstance6</i>	0 / 209	0 / 156
<i>BrazilInstance7</i>	0 / 330	0 / 294
<i>EnglandStPaul</i>	0 / 18444	0 / 11732
<i>FinlandArtificialSchool</i>	0 / 0	0 / 0
<i>FinlandCollege</i>	0 / 0	0 / 0
<i>FinlandHighSchool</i>	0 / 1	0 / 1
<i>FinlandSecondarySchool</i>	0 / 106	0 / 102
<i>GreeceHighSchool1</i>	0 / 0	0 / 0
<i>GreecePatras3rdHS2010</i>	0 / 0	0 / 0
<i>GreecePreveza3rdHS2008</i>	0 / 0	0 / 0
<i>ItalyInstance1</i>	0 / 28	0 / 23
<i>NetherlandsGEPRO</i>	1 / 566	1 / 382
<i>NetherlandsKottenpark2003</i>	0 / 1410	0 / 1189
<i>NetherlandsKottenpark2005</i>	0 / 1078	0 / 963
<i>SouthAfricaLewitt2009</i>	0 / 58	0 / 0

Experimentos Computacionais

Primeira Fase ITC2011-12



Instância	ITC $f(s^*)$	Melhor $f(s^*)$	Equipe vencedora
<i>AustraliaBGHS98</i>	7 / 433	3 / 494	HySTT
<i>AustraliaSAHS96</i>	23 / 44	8 / 52	HySTT
<i>AustraliaTES99</i>	26 / 134	1 / 140	HySTT
<i>BrazilInstance1</i>	0 / 24	0 / 11	VAGOS
<i>BrazilInstance4</i>	0 / 112	0 / 44	VAGOS
<i>BrazilInstance5</i>	0 / 225	0 / 43	VAGOS
<i>BrazilInstance6</i>	0 / 209	0 / 77	VAGOS
<i>BrazilInstance7</i>	0 / 330	0 / 122	VAGOS
<i>EnglandStPaul</i>	0 / 18444	0 / 136	Lectio
<i>FinlandArtificialSchool</i>	0 / 0	-	-
<i>FinlandCollege</i>	0 / 0	-	-
<i>FinlandHighSchool</i>	0 / 1	-	-
<i>FinlandSecondarySchool</i>	0 / 106	0 / 88	Lectio
<i>GreeceHighSchool1</i>	0 / 0	-	-
<i>GreecePatras3rdHS2010</i>	0 / 0	-	-
<i>GreecePreveza3rdHS2008</i>	0 / 0	-	-
<i>ItalyInstance1</i>	0 / 28	0 / 12	VAGOS
<i>NetherlandsGEPRO</i>	1 / 566	1 / 382	GOAL
<i>NetherlandsKottenpark2003</i>	0 / 1410	0 / 532	Lectio
<i>NetherlandsKottenpark2005</i>	0 / 1078	0 / 533	Lectio
<i>SouthAfricaLewitt2009</i>	0 / 0	0 / 0	VAGOS

Experimentos Computacionais

Segunda Fase ITC2011-12



Instância	KHE		GOAL		
	$f(s^*)$	t_s	$f(s^*)$	$f(\bar{s})$	σ
<i>BrazilInstance2</i>	4 / 90	0	1 / 54	1,0 / 63,9	$\pm 0,0 / \pm 6,5$
<i>BrazilInstance3</i>	3 / 240	1	0 / 117	0,0 / 127,8	$\pm 0,0 / \pm 7,9$
<i>BrazilInstance4</i>	39 / 144	1	17 / 92	17,2 / 99,6	$\pm 0,4 / \pm 5,9$
<i>BrazilInstance6</i>	11 / 291	0	4 / 207	4,0 / 223,5	$\pm 0,0 / 10,4$
<i>FinlandElementarySchool</i>	9 / 30	6	0 / 3	0,0 / 4,0	$\pm 0,0 / \pm 0,5$
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	2 / 1821	109	0 / 0	0,0 / 0,4	$\pm 0,0 / \pm 0,7$
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	14 / 757	20	0 / 4	0,0 / 15,3	$\pm 0,0 / \pm 7,9$
<i>Italy_Instance4</i>	39 / 21238	28	0 / 305	0,0 / 658,4	$\pm 0,0 / \pm 280,2$
<i>KosovaInstance1</i>	1333 / 566	152	0 / 4238	14,0 / 6934,4	$\pm 10,7 / \pm 1862,4$
<i>Kottenpark2003</i>	3 / 78440	402	0 / 41479	0,6 / 90195,8	$\pm 0,7 / \pm 17996,0$
<i>Kottenpark2005A</i>	35 / 23677	489	33 / 27929	33,9 / 27480,4	$\pm 0,9 / \pm 2759,2$
<i>Kottenpark2008</i>	63 / 140083	333	25 / 27410	25,7 / 31403,7	$\pm 0,7 / \pm 3969,3$
<i>Kottenpark2009</i>	55 / 211095	229	33 / 159895	36,6 / 154998,5	$\pm 2,1 / \pm 24265,8$
<i>Woodlands2009</i>	19 / 0	22	2 / 10	2,0 / 15,8	$\pm 0,0 / \pm 2,8$
<i>Spanishschool</i>	1 / 4103	17	0 / 642	0,0 / 865,2	$\pm 0,0 / \pm 177,4$
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	0 / 30	126	0 / 5	0,0 / 5,6	$\pm 0,0 / \pm 0,5$
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	0 / 41	92	0 / 6	0,0 / 7,4	$\pm 0,0 / \pm 1,0$
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	17 / 44	50	0 / 0	0,0 / 0,0	$\pm 0,0 / \pm 0,0$
Média	91,5 / 26816,1	115,4	6,4 / 14577,6	7,5 / 17394,4	$\pm 0,9 / \pm 2853,0$

Experimentos Computacionais

Segunda Fase ITC2011-12



Instância	GOAL	HFT	HySST	Lectio
<i>BrazilInstance2</i>	-	3	2	1
<i>BrazilInstance3</i>	-	3	1	2
<i>BrazilInstance4</i>	-	3	1,9	1,1
<i>BrazilInstance6</i>	-	3	2	1
<i>FinlandElementarySchool</i>	1,9	4	2,95	1,15
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	1	4	2,4	2,6
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	1	4	2,8	2,2
<i>Italy_Instance4</i>	1,1	4	3	1,9
<i>KosovaInstance1</i>	1	3	4	2
<i>Kottenpark2003</i>	1,4	4	1,6	3
<i>Kottenpark2005A</i>	1,4	3,6	1,6	3,4
<i>Kottenpark2008</i>	1	4	2,1	2,9
<i>Kottenpark2009</i>	1	4	2	3
<i>Woodlands2009</i>	1,1	4	2,8	1,5
<i>Spanishschool</i>	1	4	2	3
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	1	3	2	4
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	1	4	2	3
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	1	4	2	3
Média	1,18	3,64	2,23	2,32

Experimentos Computacionais

Terceira Fase ITC2011-12



Instância	GOAL $f(s^*)$
<i>BrazilInstance2</i>	0 / 32
<i>BrazilInstance3</i>	0 / 101
<i>BrazilInstance4</i>	1 / 136
<i>BrazilInstance6</i>	0 / 160
<i>FinlandElementarySchool</i>	0 / 3
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	0 / 0
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	0 / 0
<i>Italy_Instance4</i>	0 / 61
<i>KosovaInstance1</i>	0 / 3
<i>Kottenpark2003</i>	0 / 5355
<i>Kottenpark2005A</i>	24 / 13930
<i>Kottenpark2008</i>	8 / 27909
<i>Kottenpark2009</i>	19 / 5565
<i>Woodlands2009</i>	0 / 441
<i>Spanishschool</i>	0 / 12
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	0 / 5
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	0 / 8
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	0 / 0

Experimentos Computacionais

Terceira Fase ITC2011-12



Instância	GOAL	HFT	HySST	Lectio	VAGOS
<i>BrazilInstance2</i>	-	4	3	2	1
<i>BrazilInstance3</i>	-	4	3	2	1
<i>BrazilInstance4</i>	-	4	3	2	1
<i>BrazilInstance6</i>	-	4	3	1	2
<i>FinlandElementarySchool</i>	2,5	2,5	2,5	2,5	-
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	2	4	2	2	-
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	1	4	3	2	-
<i>Italy_Instance4</i>	2	4	1	3	-
<i>KosovaInstance1</i>	1	3	2	4	-
<i>Kottenpark2003</i>	3	4	2	1	-
<i>Kottenpark2005A</i>	2	3	1	4	-
<i>Kottenpark2008</i>	1	4	2	3	-
<i>Kottenpark2009</i>	2	4	1	3	-
<i>Woodlands2009</i>	1	4	2	3	-
<i>Spanishschool</i>	1	4	3	2	-
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	1,5	4	3	5	1,5
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	1	3	2	4	-
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	2	4	2	5	2
Média	1,64	3,75	2,25	2,75	3,86

Experimentos Computacionais



Instância	KHE	SA	ILS	LAHC
<i>BrazilInstance2</i>	4 / 90	0,0 / 107,6	0,0 / 42,2	0,0 / 78,6
<i>BrazilInstance3</i>	3 / 240	0,0 / 170,6	0,0 / 105,8	0,0 / 145,6
<i>BrazilInstance4</i>	39 / 144	2,0 / 167,4	5,2 / 122,6	8,2 / 121,4
<i>BrazilInstance6</i>	11 / 291	0,0 / 332,2	1,0 / 158,4	1,4 / 204,8
<i>FinlandElementarySchool</i>	9 / 30	0,0 / 10,0	0,0 / 3,6	0,0 / 3,8
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	2 / 1821	0,0 / 1036,4	0,0 / 0,8	0,0 / 0,4
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	14 / 757	0,0 / 397,4	0,0 / 12,2	0,8 / 11,4
<i>Italy_Instance4</i>	39 / 21238	0,0 / 13979,0	0,0 / 405,2	0,0 / 224,8
<i>KosovaInstance1</i>	1333 / 566	3,0 / 5837,8	0,2 / 19,0	14,2 / 1504,8
<i>Kottenpark2003</i>	3 / 78440	0,4 / 90052,4	1,8 / 9370,2	1,6 / 9711,0
<i>Kottenpark2005A</i>	35 / 23677	30,0 / 33967,0	33,4 / 17679,8	33,0 / 18671,0
<i>Kottenpark2008</i>	63 / 140083	10,0 / 138993,8	14,4 / 23683,8	15,2 / 23855,0
<i>Kottenpark2009</i>	55 / 211095	24,6 / 432784,0	31,8 / 7976,0	28,0 / 9192,0
<i>Woodlands2009</i>	19 / 0	2,0 / 223,8	2,0 / 9,2	2,0 / 13,2
<i>Spanish school</i>	1 / 4103	0,0 / 1077,6	0,0 / 773,8	0,0 / 846,0
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	0 / 30	0,0 / 28,4	0,0 / 5,0	0,0 / 5,0
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	0 / 41	0,0 / 39,4	0,0 / 6,6	0,0 / 9,2
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	17 / 44	0,0 / 56,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
Média	91,5 / 26816,1	4,0 / 40292,3	5,0 / 3354,1	5,8 / 3588,8

Experimentos Computacionais



Instância	VNS	RVNS	VDNS	SVNS
<i>BrazilInstance2</i>	0,0 / 40,6	2,2 / 71,4	0,6 / 63,8	0,0 / 35,8
<i>BrazilInstance3</i>	0,0 / 113,0	2,4 / 151,4	1,6 / 136,8	0,0 / 105,8
<i>BrazilInstance4</i>	4,8 / 108,2	21,0 / 112,8	13,6 / 103,4	3,8 / 132,4
<i>BrazilInstance6</i>	0,0 / 157,4	6,0 / 271,0	2,2 / 231,2	0,0 / 145,8
<i>FinlandElementarySchool</i>	0,0 / 3,4	2,6 / 7,4	0,0 / 4,0	0,0 / 3,8
<i>FinlandSecondarySchool2</i>	0,0 / 0,4	0,6 / 86,8	0,0 / 1,0	0,0 / 0,8
<i>Aigio1stHighSchool10-11</i>	0,4 / 10,2	11,2 / 200,0	4,8 / 259,0	0,4 / 8,8
<i>Italy_Instance4</i>	0,0 / 409,0	0,4 / 2666,6	0,0 / 1271,0	0,0 / 321,0
<i>KosovaInstance1</i>	1,2 / 20,4	31,6 / 278,8	2,0 / 75,6	1,2 / 19,6
<i>Kottenpark2003</i>	2,0 / 10217,2	2,4 / 34766,0	2,8 / 7937,8	2,0 / 10427,0
<i>Kottenpark2005A</i>	33,8 / 19059,2	35,0 / 22914,0	27,0 / 10118,0	33,8 / 18834,6
<i>Kottenpark2008</i>	15,6 / 23962,0	36,8 / 38936,6	16,8 / 33443,6	15,2 / 23756,6
<i>Kottenpark2009</i>	35,0 / 8543,0	45,4 / 148601,0	31,2 / 8563,0	34,0 / 8649,0
<i>Woodlands2009</i>	2,0 / 8,2	10,8 / 16,4	2,0 / 14,4	2,0 / 6,8
<i>Spanish school</i>	0,0 / 907,8	0,0 / 3068,0	0,0 / 1126,0	0,0 / 783,8
<i>WesternGreeceUniversity3</i>	0,0 / 5,4	0,0 / 20,4	0,0 / 15,2	0,0 / 5,2
<i>WesternGreeceUniversity4</i>	0,0 / 6,4	0,0 / 30,0	0,0 / 23,6	0,0 / 5,2
<i>WesternGreeceUniversity5</i>	0,0 / 0,0	2,8 / 16,2	1,2 / 3,0	0,0 / 0,0
Média	5,3 / 3531,8	11,7 / 14011,9	5,9 / 3521,7	5,1 / 3513,4

Considerações Finais



- Melhoramos algumas das melhores soluções conhecidas
- **Vencedores da Third ITC!!!**
 - Com larga vantagem





- Diferencial da equipe GOAL



- Predominância da busca local para *timetabling*
 - *Simulated Annealing*



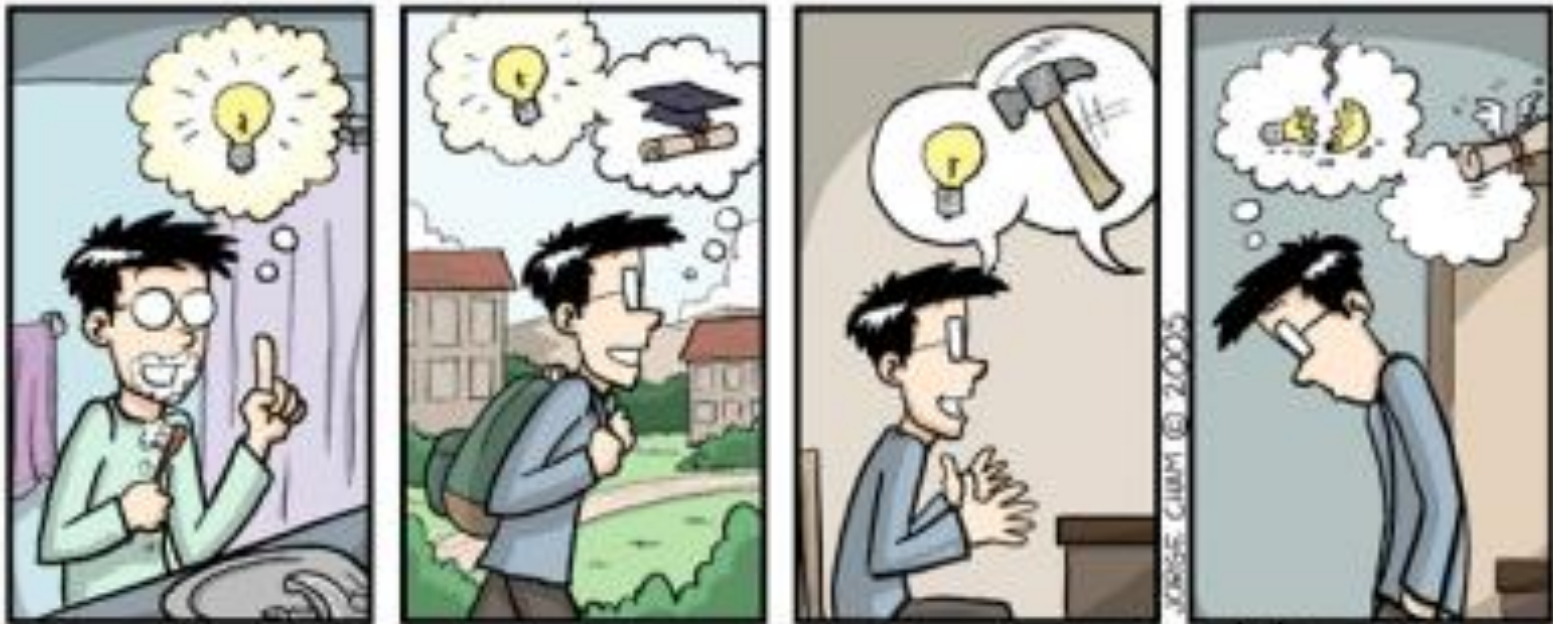
- Trabalhos futuros
 - Novas estruturas de vizinhança
 - Outras metaheurísticas
 - Configuração de parâmetros
 - Determinar automaticamente as probabilidades da vizinhança
 - Formulações de PI





Agradecimentos

Perguntas



www.phdcomics.com

Técnicas Heurísticas Abordadas



- Método Construtivo

$mat_{a1} \ mat_{a2} \ his_{a1} \ eng_{a1} \ eng_{a2} + mat_{a1} \ mat_{a2} \ eng_{b1} \ eng_{b2} \ his_{b1}$

