

6 Experimentos realizados

6.1 Considerações iniciais

Resolvemos os modelos de PLIM utilizando o resolvidor CPLEX, baseado no método de *branch-and-bound*. Resolvemos as relaxações lineares dos mesmos modelos utilizando resolvidor de PL do CPLEX. A máquina principal utilizada para os experimentos está equipada com um processador Intel Core 2 Duo T5800 2GHz e 4GB de memória RAM, utilizando o Windows Vista 64 bits como sistema operacional.

Devido à dificuldade de resolução do PPHCPM após a inclusão de todas as restrições necessárias para a definição do custo das violações de restrições fracas (*SoftCost*), optamos por *também* reportar os resultados dos algoritmos em uma versão severamente simplificada do problema, em que são consideradas apenas as violações à restrição *NoEndOfDayEvent*, uma vez que o custo destas violações é facilmente incluído na formulação, sem a necessidade de aumentar demasiadamente o tamanho do modelo. Denotamos o custo destas violações por *eodEvt*.

6.2 Instâncias utilizadas

O conjunto de instâncias utilizadas em nossos experimentos foi o mesmo utilizado na ITC 2007 (ver seção 2.1.2). Colhemos uma série de estatísticas sobre as instâncias, que resumimos na tabela 6.1. Para cada instância, reportamos:

- $|\mathcal{E}|$, a quantidade de eventos;
- $|\mathcal{S}|$, a quantidade de estudantes;
- $|\mathcal{S}^e|_{avg}$, a quantidade média de estudantes por evento;
- $|\Delta(e)|_{avg}$, a quantidade média de conflitos por evento;
- $|\mathcal{P}^{rec}(e)|_{avg}$, a quantidade média de eventos predecessores por evento;
- $|\mathcal{P}^e|_{avg}$, a quantidade média de períodos apropriados por evento;

– $|\mathcal{R}^e|_{avg}$, a quantidade média de salas apropriadas por evento.

instância	$ \mathcal{E} $	$ \mathcal{S} $	$ \mathcal{S}^e _{avg}$	$ \Delta(e) _{avg}$	$Prec(e) _{avg}$	$ \mathcal{P}^e _{avg}$	$ \mathcal{R}^e _{avg}$
comp-2007-2-1	400	500	26.28	136.51	0.10	25.34	4.08
comp-2007-2-2	400	500	26.29	149.49	0.09	25.69	3.95
comp-2007-2-3	200	1000	66.92	94.57	0.10	25.54	5.05
comp-2007-2-4	200	1000	66.98	103.58	0.10	25.67	6.40
comp-2007-2-5	400	300	15.69	123.38	0.33	25.43	6.81
comp-2007-2-6	400	300	15.55	121.32	0.33	25.39	5.07
comp-2007-2-7	200	500	33.67	106.29	0.10	17.86	1.58
comp-2007-2-8	200	500	34.58	103.06	0.11	17.17	1.92
comp-2007-2-9	400	500	26.79	136.13	0.10	25.42	2.91
comp-2007-2-10	400	500	26.23	153.49	0.10	25.47	3.20
comp-2007-2-11	200	1000	68.04	99.65	0.11	25.32	3.38
comp-2007-2-12	200	1000	68.04	116.33	0.10	25.67	3.36
comp-2007-2-13	400	300	15.90	129.55	0.32	25.75	8.68
comp-2007-2-14	400	300	15.64	128.43	0.32	25.44	7.56
comp-2007-2-15	200	500	32.64	106.85	0.11	17.38	2.23
comp-2007-2-16	200	500	34.10	90.82	0.11	17.57	1.74
comp-2007-2-17	100	500	97.67	69.88	0.12	25.73	2.77
comp-2007-2-18	200	500	51.43	129.63	0.10	25.67	3.48
comp-2007-2-19	300	1000	44.78	141.06	0.10	25.36	3.66
comp-2007-2-20	400	1000	33.92	111.33	0.10	25.34	3.73
comp-2007-2-21	500	300	12.40	116.33	0.32	25.96	7.36
comp-2007-2-22	600	500	17.42	156.98	0.33	25.50	5.65
comp-2007-2-23	400	1000	53.42	175.71	0.11	35.33	2.89
comp-2007-2-24	400	1000	33.34	125.21	0.60	25.26	1.59

Tabela 6.1: Instâncias utilizadas nos experimentos realizados.

Para uma interpretação adequada dos resultados, é necessária a comparação com os resultados encontrados na literatura. Uma fonte destas informações é o próprio *site* da ITC 2007, onde estão disponíveis em detalhes os resultados da execução dos algoritmos que participaram da competição. Compilamos na tabela 6.2 os melhores resultados obtidos na competição para cada instância, considerando todas as execuções de todos os algoritmos participantes.

6.3

Coloração do grafo de conflitos de estudantes

Os primeiros experimentos tem como objetivo avaliar comparativamente o uso das duas formulações apresentadas para o Problema de Coloração de Grafos (PCG), mais especificamente o problema de colorir os *grafos de conflitos entre eventos* das instâncias do PPHCPM da ITC 2007. As formulações

instância	DtF	$SoftCost$
comp-2007-2-1	0	15
comp-2007-2-2	0	0
comp-2007-2-3	0	164
comp-2007-2-4	0	239
comp-2007-2-5	0	0
comp-2007-2-6	0	0
comp-2007-2-7	0	0
comp-2007-2-8	0	0
comp-2007-2-9	0	0
comp-2007-2-10	0	0
comp-2007-2-11	0	178
comp-2007-2-12	0	32
comp-2007-2-13	0	0
comp-2007-2-14	0	0
comp-2007-2-15	0	0
comp-2007-2-16	0	0
comp-2007-2-17	0	0
comp-2007-2-18	0	0
comp-2007-2-19	0	22
comp-2007-2-20	0	445
comp-2007-2-21	0	0
comp-2007-2-22	0	0
comp-2007-2-23	0	238
comp-2007-2-24	0	21

Tabela 6.2: Melhores resultados obtidos para cada instância na ITC 2007.

comparadas são a Formulação Padrão e a Formulação de Representantes Assimétricos (ver seção 3.3).

6.3.1

Versão de otimização do PCG

Primeiramente consideramos a versão de otimização do PCG, na qual tentamos minimizar a quantidade de cores necessárias para colorir o grafo. Resolvemos os modelos de PLIM utilizando o CPLEX, utilizando as configurações recomendadas.

O primeiro experimento consiste em resolver a relaxação linear do PCG, e seus resultados são resumidos na tabela 6.3. As colunas z mostram o valor da função objetivo (quantidade de cores utilizadas, fracionária), enquanto as colunas t mostram o tempo necessário para resolver cada instância. As duas formulações comparadas são referenciadas por *std* (Formulação Padrão) e *rep* (Formulação de Representantes Assimétricos).

Para este experimento, é notável a superioridade da Formulação de Re-

instância	z_{std}	t_{std}	z_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	1	61.26	29.75	2.26
comp-2007-2-4	1	71.26	29.33	38.84
comp-2007-2-7	1	96.55	30.02	8.17
comp-2007-2-8	1	75.88	24	8.95
comp-2007-2-11	1	82.12	31	5.45
comp-2007-2-12	1	83.68	27.5	4.15
comp-2007-2-15	1	78.64	24.67	6.3
comp-2007-2-16	1	56.82	22.5	11.83
comp-2007-2-17	1	15.73	30.5	0.11
comp-2007-2-18	1	108.64	28	8.24

Tabela 6.3: Versão de otimização do PCG, resolução da relaxação linear.

representantes Assimétricos para a obtenção de limites inferiores para o valor ótimo da solução. Quando utilizamos a Formulação Padrão, o resolvidor consegue construir soluções extremamente fracionárias, resultando em um limite inferior muito fraco para todas as instâncias, o que não ocorre utilizando a Formulação de Representantes Assimétricos. Em relação ao tempo de resolução da relaxação linear, também notamos que os tempos de resolução dos modelos da Formulação Padrão são bem mais altos.

O segundo experimento, reportado na tabela 6.4, consiste da resolução dos modelos de PLIM utilizando o resolvidor de PLIM do CPLEX. As colunas ub e lb contém respectivamente os limites superior (*upper bound*) e inferior (*lower bound*) encontrados.

Novamente a superioridade da Formulação de Representantes Assimétricos é evidente, tendo sido possível obter soluções ótimas para quatro instâncias, e limites inferiores e superiores para as demais. Usando a Formulação Padrão, apenas foi possível obter limites inferior e superior para a menor das instâncias testadas.

6.3.2

Versão de decisão do PCG

A resolução do PPHCPM envolve implicitamente a resolução de um problema de coloração de grafos, referente ao grafo de conflitos entre eventos. No entanto, como a função objetivo do PPHCPM não prioriza a utilização de um número pequeno de períodos, pode-se dizer que o problema implícito é a *versão de decisão* do PCG, também chamado de k -PCG. No caso deste problema especificamente, o número máximo de cores a serem utilizadas é justamente o número de períodos disponíveis, $|\mathcal{P}| = 45$, portanto, também fizemos experimentos para comparar o impacto de diferentes formulações para

instância	ub_{std}	lb_{std}	t_{std}	ub_{rep}	lb_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	∞	$-\infty$	3608.66	33	33	54.46
comp-2007-2-4	∞	$-\infty$	3607.15	∞	30	3601.44
comp-2007-2-7	∞	$-\infty$	3603.72	35	33.07	3600.88
comp-2007-2-8	∞	$-\infty$	3603.95	∞	29.1	3601.39
comp-2007-2-11	∞	$-\infty$	3603.75	34	34	113.24
comp-2007-2-12	∞	$-\infty$	3603.92	35	35	224.52
comp-2007-2-15	∞	$-\infty$	3604.26	43	28.82	3601.17
comp-2007-2-16	∞	$-\infty$	3603.22	∞	23	3602.03
comp-2007-2-17	32	29.67	3601.31	31	31	0.14
comp-2007-2-18	∞	$-\infty$	3604.61	∞	29.04	3601.41

Tabela 6.4: Versão de otimização do PCG, resolução por *branch-and-bound*.

resolução do k -PCG, com $k = 45$.

instância	z_{std}	t_{std}	z_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	0	3.59	0	2.12
comp-2007-2-4	0	4.13	0	4.34
comp-2007-2-7	0	4.62	0	1.76
comp-2007-2-8	0	4.02	0	8.97
comp-2007-2-11	0	3.76	0	3.62
comp-2007-2-12	0	4.65	0	4.42
comp-2007-2-15	0	4.4	0	5.87
comp-2007-2-16	0	3.64	0	3.92
comp-2007-2-17	0	1.23	0	0.08
comp-2007-2-18	0	5.27	0	3.45

Tabela 6.5: Versão de decisão do PCG ($k=45$), resolução da relaxação linear.

A tabela 6.5 resume os resultados da resolução da relaxação linear do k -PCG utilizando as duas formulações. Como não há função objetivo, não há como comparar a qualidade dos limites inferiores. Quanto ao tempo de resolução, notamos que ao utilizar a Formulação de Representantes Assimétricos, os tempos de resolução em geral são menores do que utilizando a Formulação Padrão, mas não de forma tão significativa como ocorreu na versão de otimização do PCG.

A tabela 6.6 consiste dos resultados da resolução dos modelos de PLIM. Mais uma vez, é vantajoso utilizar a Formulação de Representantes Assimétricos, uma vez que ela permite a obtenção de soluções inteiras viáveis (e portanto ótimas, já que não há custo no problema de decisão) em um intervalo de tempo menor, e para mais instâncias. Utilizando a Formulação Padrão, uma solução viável é encontrada, dentro do tempo limite, somente para a menor das instâncias.

instância	ub_{std}	lb_{std}	t_{std}	ub_{rep}	lb_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	∞	0	3603.28	0	0	32.54
comp-2007-2-4	∞	0	3603.59	0	0	865.2
comp-2007-2-7	∞	0	3603.72	0	0	422.51
comp-2007-2-8	∞	$-\infty$	3603.56	0	0	1567.36
comp-2007-2-11	∞	0	3605.23	0	0	215.78
comp-2007-2-12	∞	0	3609.8	0	0	250.9
comp-2007-2-15	∞	$-\infty$	3608.8	0	0	1101.76
comp-2007-2-16	∞	$-\infty$	3607.73	∞	0	3604.22
comp-2007-2-17	0	0	23.88	0	0	0.34
comp-2007-2-18	∞	0	3611.27	∞	0	3602.36

Tabela 6.6: Versão de decisão do PCG ($k=45$), resolução por *branch-and-bound*.

6.4

Resolução do PPHCPM por Metaheurísticas

Este grupo de experimentos tem como objetivo avaliar a eficácia das metaheurísticas implementadas em relação à obtenção de soluções viáveis e otimização do seu custo.

No primeiro experimento, reportado na tabela 6.7, utilizamos a Busca Tabu otimizando somente o custo das violações de restrições fortes (*HardCost*). O algoritmo é executado por um número fixo de iterações, $T = 10^6$, podendo ser finalizado a qualquer momento caso uma solução de valor zero seja encontrada. As colunas da tabela, *ordProb*, *stdClash* e *roomClash* indicam componentes deste custo, respectivamente, a quantidade de violações de restrições de ordem, a quantidade de violações de conflitos de estudantes e a quantidade de violações de conflitos de sala. A medida de distância para a viabilidade, *DtF* (*Distance to Feasibility*) é a métrica utilizada na ITC para comparar soluções inviáveis, conforme discutido na seção 2.3.3. As últimas colunas reportam o custo das violações de restrições fracas, ou *SoftCost*, e o tempo de resolução, em segundos.

Experimento semelhante é realizado para o algoritmo de *Simulated Annealing*, otimizando somente o custo das violações de restrições fortes. O processo é composto por cinco fases consecutivas, a primeira com um número fixo de iterações, $T = 10^5$, sendo este parâmetro multiplicado por 3 ao iniciar a cada fase subsequente, juntamente com o reaquecimento do sistema. Assim como na Busca Tabu, o processo é finalizado a qualquer momento se encontrada uma solução de valor zero. Na tabela 6.8 são reportados os resultados deste experimento.

Comparando os resultados obtidos pela Busca Tabu e pelo *Simulated Annealing*, vemos que ambos são capazes de obter soluções viáveis (ou seja,

instância	<i>ordProb</i>	<i>stdClash</i>	<i>roomClash</i>	<i>DtF</i>	<i>SoftCost</i>	<i>t</i>
comp-2007-2-1	0	0	0	0	2647	9.49
comp-2007-2-2	0	0	0	0	2799	18.16
comp-2007-2-3	0	0	0	0	3177	0.69
comp-2007-2-4	0	0	0	0	3282	1.03
comp-2007-2-5	0	0	0	0	1836	6.62
comp-2007-2-6	0	0	0	0	1839	8.03
comp-2007-2-7	0	0	0	0	1743	0.41
comp-2007-2-8	0	0	0	0	1685	0.36
comp-2007-2-9	0	0	0	0	3322	11.98
comp-2007-2-10	0	0	0	0	3141	21.78
comp-2007-2-11	0	0	0	0	3270	0.34
comp-2007-2-12	0	0	0	0	2883	0.94
comp-2007-2-13	0	0	0	0	1799	16.8
comp-2007-2-14	0	0	0	0	1875	24.07
comp-2007-2-15	0	0	0	0	1632	0.44
comp-2007-2-16	0	0	0	0	1446	0.27
comp-2007-2-17	0	0	0	0	2288	0.06
comp-2007-2-18	0	0	0	0	3156	0.59
comp-2007-2-19	0	0	0	0	3034	9.47
comp-2007-2-20	0	0	0	0	3202	1.36
comp-2007-2-21	0	0	0	0	1753	8.78
comp-2007-2-22	0	0	0	0	2831	380.89
comp-2007-2-23	0	0	0	0	6616	10.67
comp-2007-2-24	0	0	0	0	3001	1.73

Tabela 6.7: Busca tabu para o PPHCPM, otimizando *DtF*.

sem nenhuma violação de restrição forte) em poucos segundos, com o *Simulated Annealing* apresentando certa vantagem.

Os experimentos seguintes consistem na aplicação de Busca Tabu e *Simulated Annealing* para a otimização também do custo das violações de restrições fracas (*SoftCost*), após a obtenção de uma solução viável. Os resultados são reportados nas tabelas 6.9 e 6.10. As colunas *evtSeq*, *sglEvt* e *eodEvt* indicam os componentes deste custo, respectivamente as quantidades de violações às restrições *NoEventSequence*, *NoSingleEvent* e *NoEndOfDayEvent*, discutidas na seção 2.2.3.

instância	<i>ordProb</i>	<i>stdClash</i>	<i>roomClash</i>	<i>DtF</i>	<i>SoftCost</i>	<i>t</i>
comp-2007-2-1	0	0	0	0	2731	6.65
comp-2007-2-2	0	0	0	0	2807	17.35
comp-2007-2-3	0	0	0	0	2818	0.42
comp-2007-2-4	0	0	0	0	3057	0.45
comp-2007-2-5	0	0	0	0	1795	0.92
comp-2007-2-6	0	0	0	0	1687	1.87
comp-2007-2-7	0	0	0	0	1477	0.42
comp-2007-2-8	0	0	0	0	1338	0.39
comp-2007-2-9	0	0	0	0	2995	16.93
comp-2007-2-10	0	0	0	0	2748	43.01
comp-2007-2-11	0	0	0	0	3539	0.97
comp-2007-2-12	0	0	0	0	3243	1.08
comp-2007-2-13	0	0	0	0	1734	2.17
comp-2007-2-14	0	0	0	0	1751	4.49
comp-2007-2-15	0	0	0	0	1650	0.41
comp-2007-2-16	0	0	0	0	1580	0.36
comp-2007-2-17	0	0	0	0	2649	0.2
comp-2007-2-18	0	0	0	0	2565	0.58
comp-2007-2-19	0	0	0	0	3013	14.1
comp-2007-2-20	0	0	0	0	3135	2.01
comp-2007-2-21	0	0	0	0	1644	2.23
comp-2007-2-22	0	0	0	0	2777	58.91
comp-2007-2-23	0	0	0	0	6219	4.99
comp-2007-2-24	0	0	0	0	3101	1.92

Tabela 6.8: *Simulated annealing* para o PPHCPM, otimizando *DtF*.

instância	DtF	$evtSeq$	$sglEvt$	$eodEvt$	$SoftCost$	t
comp-2007-2-1	0	1282	23	1027	2332	246.58
comp-2007-2-2	0	1396	33	1092	2521	234.72
comp-2007-2-3	0	263	378	1033	1674	270.82
comp-2007-2-4	0	414	566	1062	2042	377.4
comp-2007-2-5	0	814	24	719	1557	291.64
comp-2007-2-6	0	778	16	685	1479	223.13
comp-2007-2-7	0	351	296	674	1321	32.82
comp-2007-2-8	0	282	237	664	1183	41.31
comp-2007-2-9	0	1705	39	1077	2821	175.92
comp-2007-2-10	0	1622	52	1151	2825	205.02
comp-2007-2-11	0	460	457	878	1795	184.38
comp-2007-2-12	0	468	446	1218	2132	197.33
comp-2007-2-13	0	781	13	738	1532	388.99
comp-2007-2-14	0	835	14	692	1541	347.95
comp-2007-2-15	0	311	311	624	1246	59.22
comp-2007-2-16	0	144	156	283	583	45.37
comp-2007-2-17	0	433	6	0	439	98.03
comp-2007-2-18	0	772	9	747	1528	164.69
comp-2007-2-19	0	484	513	1147	2144	233.61
comp-2007-2-20	0	470	438	1007	1915	252.44
comp-2007-2-21	0	774	21	682	1477	354.51
comp-2007-2-22	0	1447	44	1197	2688	764.31
comp-2007-2-23	0	3541	67	2118	5726	381.66
comp-2007-2-24	0	483	565	1050	2098	117.34

Tabela 6.9: Busca tabu para o PPHCPM, otimizando DtF e $SoftCost$.

instância	DtF	$evtSeq$	$splEvt$	$eodEvt$	$SoftCost$	t
comp-2007-2-1	0	1401	44	1238	2683	17.94
comp-2007-2-2	0	1596	43	1113	2752	27.94
comp-2007-2-3	0	271	307	712	1290	10.92
comp-2007-2-4	0	291	427	648	1366	11.2
comp-2007-2-5	0	827	15	611	1453	10.72
comp-2007-2-6	0	807	25	720	1552	11.58
comp-2007-2-7	0	213	215	500	928	7.79
comp-2007-2-8	0	183	187	508	878	7.75
comp-2007-2-9	0	1782	40	1030	2852	27.22
comp-2007-2-10	0	1466	28	1234	2728	55.69
comp-2007-2-11	0	693	597	1482	2772	12.06
comp-2007-2-12	0	530	461	988	1979	12.09
comp-2007-2-13	0	948	37	712	1697	12.34
comp-2007-2-14	0	983	34	708	1725	14.51
comp-2007-2-15	0	190	237	560	987	7.86
comp-2007-2-16	0	114	155	383	652	7.88
comp-2007-2-17	0	429	6	285	720	11.72
comp-2007-2-18	0	1063	12	1048	2123	10.31
comp-2007-2-19	0	617	615	1592	2824	24.73
comp-2007-2-20	0	855	682	1584	3121	13.85
comp-2007-2-21	0	895	15	701	1611	13.6
comp-2007-2-22	0	1407	27	1290	2724	71.4
comp-2007-2-23	0	2897	64	2744	5705	19.17
comp-2007-2-24	0	428	496	1059	1983	13.18

Tabela 6.10: *Simulated annealing* para o PPHCPM, otimizando DtF e $SoftCost$.

6.5

Resolução do PPHCPM via PLIM com custo parcial

A tabela 6.11 resume os resultados da resolução da relaxação linear dos modelos para o PPHCPM pelo CPLEX. É notável a desvantagem da Formulação de Representantes Assimétricos para o PPHCPM (*rep*) a partir deste ponto. Apesar da formulação ser boa para a coloração do grafo de conflitos implícito na formulação, conforme vimos nos experimentos anteriores, a partir daqui o problema é bem diferente do mero agrupamento dos eventos: com a inclusão das outras restrições fortes do PPHCPM, a escolha dos períodos em que os eventos são alocados passa a ser relevante. Com isso, a Formulação de Representantes Assimétricos paga o preço por sua complexidade, sendo superada pelas formulações mais simples, a Formulação Padrão (*std*) e a Formulação Indireta (*ind*).

instância	z_{std}	t_{std}	z_{ind}	t_{ind}	z_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	0	5.69	0	3.74	0	74.37
comp-2007-2-4	0	7.46	0	4.96	0	65.68
comp-2007-2-7	0	2.4	0	2.22	0	22.54
comp-2007-2-8	0	2.06	0	1.84	0	19.42
comp-2007-2-11	0	8.3	0	4.15	0	81.65
comp-2007-2-12	0	7.94	0	5.63	0	68.14
comp-2007-2-15	0	3.89	0	3.65	0	39.92
comp-2007-2-16	0	3.31	0	2.32	0	22.23
comp-2007-2-17	0	1.69	0	1.25	0	1.37
comp-2007-2-18	0	7.46	0	10.37	0	135.58

Tabela 6.11: Resolução da relaxação linear do PPHCPM, otimizando *eadEvt* somente.

A baixa performance da Formulação de Representantes Assimétricos é ainda mais evidente na tabela 6.12, que reporta os resultados da resolução dos modelos de PLIM do PPHCPM pelo resolvidor de PLIM do CPLEX: aqui esta formulação não foi capaz de resolver a instância mais simples (que é resolvida utilizando as outras formulações. Destaque para a Formulação Indireta, uma vez que o seu modelo para a instância mais simples é resolvido em poucos segundos.

6.6

Resolução do PPHCPM via PLIM otimizando *SoftCost*

Neste experimento, os modelos de PLIM para o PPHCPM estão completos, incluindo todas as restrições referentes ao cálculo do número de violações das restrições fracas. O tempo necessário para resolver a relaxação linear do

instância	ub_{std}	lb_{std}	t_{std}	ub_{ind}	lb_{ind}	t_{ind}	ub_{rep}	lb_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	∞	$-\infty$	3611	∞	$-\infty$	3606	∞	$-\infty$	3605
comp-2007-2-4	∞	$-\infty$	3607	∞	0	3603	∞	$-\infty$	3605
comp-2007-2-7	∞	$-\infty$	3602	∞	$-\infty$	3601	∞	0	3602
comp-2007-2-8	∞	$-\infty$	3602	∞	$-\infty$	3601	∞	0	3603
comp-2007-2-11	∞	$-\infty$	3603	∞	$-\infty$	3602	∞	$-\infty$	3605
comp-2007-2-12	∞	0	3604	∞	$-\infty$	3603	∞	$-\infty$	3604
comp-2007-2-15	∞	$-\infty$	3602	∞	$-\infty$	3601	∞	0	3603
comp-2007-2-16	∞	$-\infty$	3601	∞	$-\infty$	3601	∞	$-\infty$	3604
comp-2007-2-17	0	0	1630	0	0	80.01	∞	$-\infty$	3600
comp-2007-2-18	∞	$-\infty$	3606	∞	0	3607	∞	0	3603

Tabela 6.12: Resolução do PPHCPM via *branch-and-bound*, otimizando *eodEvt* somente.

modelo, conforme reportado na tabela 6.13, aumenta para todas as formulações utilizadas. As diferenças observadas no experimento anterior são acentuadas.

instância	z_{std}	t_{std}	z_{ind}	t_{ind}	z_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	0	13.62	0	8.92	0	44.68
comp-2007-2-4	0	18.14	0	9.61	0	172.8
comp-2007-2-7	0	4.29	0	3.95	0	43.85
comp-2007-2-8	0	4.4	0	3.87	0	21
comp-2007-2-11	0	13.62	0	9.19	0	108.34
comp-2007-2-12	0	17.11	0	13.45	0	134.58
comp-2007-2-15	0	6.35	0	4.2	0	69.48
comp-2007-2-16	0	4.1	0	4.37	0	22.65
comp-2007-2-17	0	4.88	0	3.6	0	6.26
comp-2007-2-18	0	17.93	0	11.3	0	77.52

Tabela 6.13: Resolução da relaxação linear do PPHCPM, otimizando *SoftCost*.

A tabela 6.14 reporta os resultados da tentativa de resolução exata dos modelos completos para o PPHCPM, incluindo todas as restrições fortes e fracas. Neste ponto, os modelos são complexos o suficiente pra que nem a menor das instâncias possa ser resolvida dentro do tempo limite de 3600 segundos, para nenhuma das formulações.

instância	ub_{std}	lb_{std}	t_{std}	ub_{ind}	lb_{ind}	t_{ind}	ub_{rep}	lb_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	∞	0	3620	∞	0	3609	∞	0	3609
comp-2007-2-4	*	*	1218	∞	$-\infty$	3609	∞	$-\infty$	3609
comp-2007-2-7	∞	$-\infty$	3605	∞	$-\infty$	3603	∞	$-\infty$	3603
comp-2007-2-8	∞	$-\infty$	3605	∞	$-\infty$	3604	∞	$-\infty$	3604
comp-2007-2-11	∞	0	3616	∞	$-\infty$	3609	∞	$-\infty$	3609
comp-2007-2-12	∞	0	3617	∞	$-\infty$	3610	∞	$-\infty$	3610
comp-2007-2-15	∞	$-\infty$	3605	∞	$-\infty$	3603	∞	$-\infty$	3603
comp-2007-2-16	∞	$-\infty$	3605	∞	$-\infty$	3603	∞	$-\infty$	3603
comp-2007-2-17	∞	$-\infty$	3607	∞	$-\infty$	3604	∞	$-\infty$	3604
comp-2007-2-18	∞	$-\infty$	3616	∞	$-\infty$	3608	∞	$-\infty$	3608

Tabela 6.14: Resolução do PPHCPM via *branch-and-bound*, otimizando *SoftCost*.

6.7

Resolução do PPHCPM via Local Branching com custo parcial

As tabelas 6.15 e 6.16 ilustram os resultados obtidos pela resolução do PPHCPM utilizando o método de *Local Branching*, porém ser utilizar os modelos completos: o único componente do *SoftCost* considerado aqui é o número de eventos no final do dia, *eodEvt*. Utilizamos para estes experimentos um tempo limite de 600 segundos para cada iteração da busca. Na tabela 6.15, as colunas *it* registram a quantidade de iterações que o método pôde executar sem ultrapassar o limite de tempo, e as colunas *t* registram o tempo total de execução do método. É importante mencionar que a Formulação de Representantes Assimétricos é capaz de executar apenas poucas iterações do *Local Branching* antes de alcançar o limite de tempo.

instância	it_{std}	t_{std}	it_{ind}	t_{ind}	it_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	31	7704	28	3060	23	5354
comp-2007-2-4	15	2315	32	4789	4	1272
comp-2007-2-7	45	3837	56	2755	7	2314
comp-2007-2-8	31	2664	57	1896	4	1276
comp-2007-2-11	9	2940	51	6136	25	4565
comp-2007-2-12	3	1236	11	1642	8	2408
comp-2007-2-15	33	3388	59	4766	10	2436
comp-2007-2-16	37	1367	28	443.8	3	1811
comp-2007-2-17	3	13.81	3	13.14	4	305.2
comp-2007-2-18	9	2598	30	4916	11	3110

Tabela 6.15: Tempo de resolução do PPHCPM via *local branching*, otimizando *eodEvt* somente.

Na tabela 6.16, a coluna z_{start} apresenta o valor da solução inicial de referência, que é a mesma utilizada independente da formulação de suporte do *Local Branching*. As demais colunas reportam o valor da solução encontrada por cada algoritmo de *Local Branching* ao final do processo. É notável o melhor desempenho da Formulação Indireta em relação às demais.

6.8

Resolução do PPHCPM via Local Branching otimizando *SoftCost*

A tabela 6.17 resume os tempos de execução e quantidade de iterações executadas durante os experimentos com *Local Branching*. Novamente, a resolução do modelo da Formulação Padrão do PPHCPM é problemática, uma vez que já nas primeiras iterações a busca é finalizada, devido ao limite de tempo por iteração.

instância	z_{start}	z_{std}	z_{ind}	z_{rep}
comp-2007-2-3	712	118	86	392
comp-2007-2-4	648	261	73	488
comp-2007-2-7	500	97	61	384
comp-2007-2-8	508	138	0	431
comp-2007-2-11	1482	1160	118	210
comp-2007-2-12	988	913	565	777
comp-2007-2-15	560	221	88	418
comp-2007-2-16	383	0	0	382
comp-2007-2-17	285	0	0	0
comp-2007-2-18	1048	790	394	625

Tabela 6.16: Qualidade de soluções do PPHCPM obtidas via *local branching*, otimizando *eodEvt* somente.

instância	it_{std}	t_{std}	it_{ind}	t_{ind}	it_{rep}	t_{rep}
comp-2007-2-3	*	*	6	2746	2	878.4
comp-2007-2-4	*	*	2	986.8	1	618.4
comp-2007-2-7	34	10360	17	1677	8	2765
comp-2007-2-8	40	10317	42	4948	7	3370
comp-2007-2-11	4	2081	4	1230	4	1449
comp-2007-2-12	1	625.3	3	1651	1	617.3
comp-2007-2-15	23	8370	16	2108	3	963.1
comp-2007-2-16	27	5439	45	5440	1	611.6
comp-2007-2-17	13	1857	23	2671	1	611.6
comp-2007-2-18	5	3048	5	2204	4	1252

Tabela 6.17: Tempo de resolução do PPHCPM via *local branching*, otimizando *SoftCost*.

A tabela 6.18 mostra os resultados obtidos pela execução dos algoritmos de *Local Branching* minimizando o custo completo. Aqui a Formulação Indireta continua a ser a mais vantajosa. No entanto este melhor desempenho não é tão proeminente como em outros experimentos.

instância	z_{start}	z_{std}	z_{ind}	z_{rep}
comp-2007-2-3	1290	*	1238	1274
comp-2007-2-4	1366	*	1329	1366
comp-2007-2-7	928	673	756	913
comp-2007-2-8	878	615	530	828
comp-2007-2-11	2772	2567	2440	2502
comp-2007-2-12	1979	1979	1908	1979
comp-2007-2-15	987	746	765	918
comp-2007-2-16	652	497	447	652
comp-2007-2-17	720	534	360	720
comp-2007-2-18	2123	2054	1931	1952

Tabela 6.18: Qualidade de soluções do PPHCPM obtidas via *local branching*, otimizando *SoftCost*.