

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO E  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

FELIPE ZORZO PEREIRA E JOÃO VITOR DE CAMARGO

## **LISTA UM DE PLANEJAMENTO EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Porto Alegre  
2019

## 1. IMPLEMENTAÇÃO

Tentou-se realizar a implementação de forma mais modular possível. Portanto, cada um dos cinco algoritmos possui sua própria classe. Além disso, também existem classes para calcular a Distância de Manhattan, para realizar o *parsing* da entrada, para armazenar e tratar a resposta dada por um algoritmo e, por fim, uma classe para tratar os estados do problema.

A implementação foi bem direta: os algoritmos foram implementados de acordo com os pseudocódigos apresentados até agora na disciplina. Ressalta-se que, como a heurística utilizada (distância de Manhattan) é admissível e consistente, não foi necessário utilizar reabertura no A\*. Ademais, tanto IDA\* quanto Iterative Deepening se diferenciam um pouco dos pseudocódigos apresentados, já que, em nossa implementação desses algoritmos, não geramos o estado-pai ao gerar os sucessores de um estado.

A distância de Manhattan, por sua vez, foi calculada por meio da soma das distâncias dos tiles de um estado até sua célula objetivo. A distância de um tile até sua célula objetivo, por sua vez, é dada pela soma da distância horizontal da célula atual do tile até sua célula objetivo com a distância vertical da célula atual do tile até sua célula objetivo.

A parte menos direta da implementação foi a de utilizar uma representação compacta para os estados do problema, visando menor uso de memória e acelerar o processamento da instância do problema. Nossa representação compacta de um estado utiliza um inteiro de 64 bits. Como o valor máximo de uma célula da matriz que representa um estado inicial é 15, precisamos de 4 bits para representa-los; como o número máximo de células numa matriz que representa um estado inicial é 16, precisamos de 16 vezes 4 bits para representar tal matriz, resultando nos 64 bits. Na posse desse inteiro de 64 bits, botamos o valor da última célula da matriz (no caso do 15-puzzle, essa célula seria a  $a_{4,4}$ , enquanto no 8-puzzle ela seria a  $a_{3,3}$ ) em seus 4 bits menos significativos, o valor da penúltima célula ( $a_{4,3}$  no 15-puzzle e  $a_{3,2}$  no 8-puzzle) em seus 4 bits seguintes e etc. Notar que as instâncias do 15-puzzle irão usar todo o comprimento do inteiro de 64 bits, enquanto as instâncias do 8-puzzle irão utilizar apenas 36 dos 64 bits.

Para descompactar o estado, basta criarmos um novo inteiro de 64 bits e preencheremos os 4 bits referentes à célula que queremos obter com 1; os demais bits são zerados. Com isso geramos uma máscara: se fizermos a operação *and* dessa máscara com o inteiro que representa a matriz compactada, iremos obter o valor da célula da matriz que queremos.

A maior dificuldade da implementação, por sua vez, foi atingir o valor médio da função heurística dado nos exemplos presentes na definição do trabalho: não chegamos nos mesmos valores. Contudo, em ambos os casos os valores eram bem próximos aos mostrados nos exemplos, então consideramos que pode ser um problema de aproximação ou truncamento.

## **2. CONFIGURAÇÃO DO COMPUTADOR DE TESTE**

Os algoritmos foram testados em uma máquina com sistema operacional Linux Ubuntu 18.04.2 (64-bit), 16GB de memória principal e processador Intel(R) Core(TM) i7-8550U com 8 núcleos físicos de 2.4GHz, cada um com 32KB de cache L1 e 256KB de cache L2. A linguagem de programação utilizada foi C++11; para compilar o programa, utilizou-se a flag -O3.

### 3. RESULTADOS

Abaixo se encontra uma tabela com a média dos resultados obtidos por cada algoritmo para o conjunto de instâncias do 8-puzzle. O A\* foi o único algoritmo que foi executado com o conjunto de instâncias do 15-puzzle, além do conjunto de instâncias do 8-puzzle. As instâncias do 15-puzzle que não foram completadas dentro do limite de tempo (30 segundos) e memória (8GB) foram ignoradas para calcular a média.

Tabela 3.1 – Média dos resultados obtidos para os conjuntos de instâncias.

Algoritmo	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
A* (15-puzzle)	3782751.670732	51.52439	5.497116	25.129468	36.304878
A* (8-puzzle)	895	22.16	0.001464	10.083938	13.88
BFS-Graph	81459.54	22.16	0.085709	0	13.88
IDFS	2578290.56	22.16	0.611877	0	13.88
IDA*	2373.03	22.16	0.002824	10.41507	13.88
GBFS	205.65	64.62	0.000524	6.696465	13.88

As tabelas das próximas páginas possuem os resultados de cada algoritmo para cada instância do 8-puzzle e, no caso do A\*, do 15-puzzle.

Tabela 3.2 – Resultados do A\* para as instâncias do 15-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	14028344	57	20.59872	21.75199	41
2	4415279	55	6.454224	23.2376	43
3	-	-	-	-	-

4	5253685	56	7.118339	28.11237	42
5	2021382	56	2.678711	28.22766	42
6	969356	52	1.215332	27.5138	36
7	7170013	52	10.40981	23.90806	30
8	2618503	50	3.634519	24.53016	32
9	313211	46	0.316799	21.5565	32
10	17805045	59	27.41883	20.18886	43
11	3525006	57	4.458559	28.73712	43
12	32334	45	0.0625	26.37191	35
13	831333	46	1.024955	19.50555	36
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	909219	42	1.240264	18.50412	24
17	-	-	-	-	-
18	1267588	55	1.468469	27.28067	43
19	154092	46	0.153179	23.10857	36
20	1995813	52	2.80123	24.81511	36
21	5668025	54	8.18512	28.36722	34
22	13338796	59	19.10777	24.6785	41
23	1398857	49	1.755733	24.45616	33
24	4691710	54	6.788132	27.88208	34
25	6227205	52	9.38791	25.79764	32
26	-	-	-	-	-
27	11278428	53	16.7596	18.05683	33
28	909442	52	1.143247	27.97247	36
29	3917549	54	5.853517	27.2159	38
30	215990	47	0.229243	24.94003	35
31	192534	50	0.164399	28.29495	38
32	17025056	59	25.98716	21.35531	43
33	-	-	-	-	-
34	2063117	52	2.76045	26.22514	36
35	4626661	55	6.483154	28.44187	39
36	2309697	52	3.205	26.06708	36
37	-	-	-	-	-
38	827864	53	0.907244	28.89492	41
39	1118025	49	1.445553	24.40772	35
40	6540243	54	9.320697	27.96699	36

41	5727374	54	8.044	27.61368	36
42	48447	42	0.082963	23.38227	30
43	7332466	64	9.28773	36.4556	48
44	2731989	50	3.735549	25.46414	32
45	539196	51	0.591765	27.42694	39
46	1430455	49	1.843145	23.06775	35
47	179689	47	0.176436	25.56866	35
48	119535	49	0.108422	25.34096	39
49	-	-	-	-	-
50	4399444	53	6.450938	26.14494	39
51	3031922	56	3.904691	28.35977	44
52	11641228	56	19.52379	21.29341	38
53	-	-	-	-	-
54	7221615	56	10.52103	30.5408	40
55	152123	41	0.170631	20.66594	29
56	-	-	-	-	-
57	484048	50	0.567918	26.24736	36
58	506538	51	0.623939	25.66872	37
59	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-
61	508957	45	0.579235	21.78026	31
62	1828847	57	2.196601	29.0288	43
63	-	-	-	-	-
64	5622335	51	9.022251	24.34574	31
65	920623	47	1.29935	22.64136	31
66	-	-	-	-	-
67	8430894	50	14.51519	21.50756	28
68	5471060	51	8.385274	26.46128	31
69	4579005	53	6.647573	26.66784	37
70	8179227	52	12.79099	23.60877	30
71	557862	44	0.617872	20.65508	30
72	-	-	-	-	-
73	188717	49	0.155949	24.02898	37
74	1373939	56	1.603877	28.88116	46
75	3440513	48	4.734667	22.66553	30
76	7622602	57	11.77427	29.84326	41
77	2184110	54	2.894098	27.74106	34

78	619299	53	0.634384	27.55078	41
79	68633	42	0.0732	21.80885	28
80	3951356	57	5.682355	28.33401	43
81	744209	53	0.806404	28.18355	39
82	-	-	-	-	-
83	1900358	49	2.629754	24.19664	31
84	10972804	55	15.92509	21.83927	37
85	158355	44	0.135255	20.94857	32
86	195222	45	0.162799	22.41606	35
87	4681483	52	6.698533	27.71131	34
88	-	-	-	-	-
89	3559259	54	4.62765	27.26422	38
90	820923	50	0.910002	26.2277	36
91	18150875	57	27.73411	16.62646	41
92	-	-	-	-	-
93	438960	46	0.446034	21.02181	34
94	276325	53	0.24847	27.98791	45
95	751475	50	0.837851	25.17785	34
96	1263033	49	1.561634	23.12782	35
97	191601	44	0.179807	21.34174	32
98	9499694	54	14.44995	21.31397	34
99	5342754	57	7.220578	29.60597	39
100	4484857	54	6.411177	26.46347	38

Tabela 3.3 – Resultados do A\* para as instâncias do 8-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	835	22	0.000666	9.069538	12
2	1024	23	0.001293	10.09312	15
3	72	17	0.000071	9.284264	13
4	953	25	0.000901	11.83644	17
5	91	16	0.000092	6.661417	10
6	652	22	0.00062	9.291833	12
7	350	22	0.000317	10.5641	14



8	612	21	0.000552	9.863636	11
9	232	17	0.000219	7.561014	7
10	177	21	0.00018	10.85987	13
11	511	23	0.000646	10.02274	15
12	1037	23	0.001067	10.36781	11
13	197	19	0.000185	8.416822	13
14	697	22	0.000685	9.232994	14
15	239	19	0.000248	7.895476	13
16	1622	22	0.001604	9.629885	10
17	315	20	0.00029	8.777648	10
18	30	21	0.00003	10.58025	19
19	373	22	0.000381	10.77186	18
20	550	22	0.000497	10.6368	16
21	34	16	0.000042	8.382978	14
22	118	16	0.000123	8.448598	10
23	1449	25	0.00185	10.86561	15
24	873	22	0.001472	10.11891	14
25	808	23	0.000906	9.782529	13
26	1167	25	0.001028	10.59313	15
27	308	21	0.000265	9.518029	15
28	41	13	0.000047	5.991304	7
29	533	23	0.00072	11.05415	13
30	346	24	0.000288	11.70011	16
31	929	24	0.000874	10.3699	14
32	117	16	0.000178	8.802507	12
33	26	18	0.000041	9.150685	16
34	666	23	0.000909	10.13405	13
35	1734	26	0.003709	10.84309	14
36	1824	27	0.004414	12.29162	17
37	231	22	0.000573	11.5935	14
38	1807	26	0.004831	10.78155	14
39	655	22	0.001356	9.411631	12
40	2298	25	0.002524	10.21682	13
41	76	14	0.000195	7.304762	8
42	786	25	0.00167	11.41651	19
43	609	21	0.000861	9.135718	11
44	2231	26	0.006427	10.69492	16

45	1757	24	0.004637	9.848607	14
46	299	24	0.000652	11.83187	20
47	41	18	0.000107	10.1579	14
48	543	23	0.001834	10.76503	15
49	438	21	0.001023	10.03311	11
50	2864	28	0.009366	12.43792	16
51	221	20	0.000547	9.79868	12
52	2849	27	0.008783	11.16176	15
53	179	19	0.00094	8.808642	11
54	1075	26	0.004558	11.73282	16
55	177	18	0.000704	8.541323	12
56	752	24	0.002694	10.17758	16
57	182	18	0.000432	8.150407	8
58	1355	24	0.005468	10.07246	12
59	205	23	0.000528	11.23007	17
60	712	24	0.001603	10.66562	16
61	1421	27	0.00299	12.27149	19
62	2186	25	0.00309	9.902309	13
63	168	21	0.000224	10.79691	15
64	39	22	0.000056	12.39623	18
65	4038	28	0.00415	11.22508	14
66	90	20	0.000111	9.860083	16
67	2905	27	0.003474	10.94087	17
68	2301	27	0.00274	12.01062	15
69	698	25	0.000649	11.0091	19
70	2190	24	0.003406	9.419497	10
71	936	24	0.001011	11.96696	16
72	238	22	0.000212	10.14596	16
73	3038	27	0.00354	11.0005	15
74	1632	26	0.002076	10.89408	18
75	4306	25	0.005012	10.28565	11
76	739	26	0.000822	12.15471	20
77	382	20	0.000426	9.361576	14
78	2084	26	0.00197	10.75452	16
79	99	16	0.000113	7.474452	10
80	2764	27	0.003763	11.54063	17
81	428	19	0.000444	8.572294	11

82	715	25	0.000664	13.38646	21
83	68	15	0.000073	7.328043	11
84	34	17	0.000043	9.442105	13
85	121	15	0.00014	7.109423	7
86	993	25	0.001065	10.83887	17
87	163	17	0.000166	8.934685	11
88	2389	27	0.003955	11.82718	17
89	369	20	0.000455	8.174874	8
90	356	20	0.00038	8.549634	12
91	1461	27	0.002198	11.34774	21
92	854	26	0.000848	11.64851	18
93	730	22	0.000987	9.536723	12
94	257	22	0.000281	11.5	14
95	414	22	0.000416	9.894454	12
96	181	19	0.000202	10.11657	17
97	336	20	0.000365	8.961665	8
98	707	21	0.000766	8.465201	9
99	1467	24	0.00207	11.10197	14
100	1319	25	0.001335	10.81227	13

Tabela 3.4 – Resultados do BFS-Graph para as instâncias do 8-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	70436	22	0.071104	0	12
2	98412	23	0.112185	0	15
3	11718	17	0.008761	0	13
4	134664	25	0.109859	0	17
5	5209	16	0.003184	0	10
6	59830	22	0.076011	0	12
7	71614	22	0.063598	0	14
8	42704	21	0.055733	0	11
9	10486	17	0.006805	0	7
10	55230	21	0.104578	0	13
11	86288	23	0.15557	0	15

12	87902	23	0.103435	0	11
13	24271	19	0.020003	0	13
14	67445	22	0.074075	0	14
15	21294	19	0.018154	0	13
16	67976	22	0.056071	0	10
17	30932	20	0.026094	0	10
18	51926	21	0.048097	0	19
19	74010	22	0.071705	0	18
20	57200	22	0.056637	0	16
21	6175	16	0.004463	0	14
22	4890	16	0.004214	0	10
23	128087	25	0.129899	0	15
24	59140	22	0.085647	0	14
25	86044	23	0.141347	0	13
26	124428	25	0.130681	0	15
27	55828	21	0.065522	0	15
28	1904	13	0.001037	0	7
29	89286	23	0.094829	0	13
30	96167	24	0.105489	0	16
31	108997	24	0.120107	0	14
32	6800	16	0.004904	0	12
33	12237	18	0.013362	0	16
34	91221	23	0.099478	0	13
35	146642	26	0.132581	0	14
36	166169	27	0.201624	0	17
37	61999	22	0.058882	0	14
38	149038	26	0.133338	0	14
39	66394	22	0.080114	0	12
40	134964	25	0.112167	0	13
41	3528	14	0.002378	0	8
42	141058	25	0.111196	0	19
43	51334	21	0.040591	0	11
44	147235	26	0.098527	0	16
45	96629	24	0.08241	0	14
46	117820	24	0.08934	0	20
47	12721	18	0.009374	0	14
48	82402	23	0.067028	0	15

49	55950	21	0.047957	0	11
50	170358	28	0.157825	0	16
51	41346	20	0.034594	0	12
52	163708	27	0.124781	0	15
53	25948	19	0.024202	0	11
54	146431	26	0.101209	0	16
55	16644	18	0.015938	0	12
56	113398	24	0.088817	0	16
57	12763	18	0.010141	0	8
58	102477	24	0.107201	0	12
59	91593	23	0.098558	0	17
60	116022	24	0.132928	0	16
61	170975	27	0.177601	0	19
62	132375	25	0.128894	0	13
63	43631	21	0.038523	0	15
64	61343	22	0.064628	0	18
65	173107	28	0.223475	0	14
66	37323	20	0.045966	0	16
67	166627	27	0.167499	0	17
68	165544	27	0.234633	0	15
69	136365	25	0.227283	0	19
70	101428	24	0.116492	0	10
71	99337	24	0.081834	0	16
72	69657	22	0.064603	0	16
73	169153	27	0.146233	0	15
74	146614	26	0.102198	0	18
75	136769	25	0.097719	0	11
76	144168	26	0.097679	0	20
77	32178	20	0.022728	0	14
78	149505	26	0.115539	0	16
79	6810	16	0.006621	0	10
80	165286	27	0.134626	0	17
81	20088	19	0.026483	0	11
82	134133	25	0.111666	0	21
83	3471	15	0.001968	0	11
84	9452	17	0.007192	0	13
85	4001	15	0.002953	0	7

86	134421	25	0.130636	0	17
87	10951	17	0.013802	0	11
88	165164	27	0.144624	0	17
89	32194	20	0.042042	0	8
90	37083	20	0.054835	0	12
91	163614	27	0.167209	0	21
92	145000	26	0.336251	0	18
93	68791	22	0.190424	0	12
94	69185	22	0.116049	0	14
95	66051	22	0.069188	0	12
96	25603	19	0.024465	0	17
97	30499	20	0.034652	0	8
98	45472	21	0.050746	0	9
99	106698	24	0.105632	0	14
100	130566	25	0.238923	0	13

Tabela 3.5 – Resultados do IDFS para as instâncias do 8-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	809224	22	0.562045	0	12
2	1659716	23	0.57564	0	15
3	56332	17	0.013999	0	13
4	3832745	25	0.829718	0	17
5	20305	16	0.007164	0	10
6	572929	22	0.238021	0	12
7	840836	22	0.310635	0	14
8	336804	21	0.083565	0	11
9	48030	17	0.011571	0	7
10	523656	21	0.10453	0	13
11	1183127	23	0.219863	0	15
12	1229083	23	0.249291	0	11
13	144153	19	0.049449	0	13
14	726908	22	0.235743	0	14
15	119854	19	0.033264	0	13

16	746437	22	0.137818	0	10
17	201422	20	0.04592	0	10
18	463439	21	0.101185	0	19
19	880730	22	0.209601	0	18
20	529433	22	0.219503	0	16
21	25389	16	0.011445	0	14
22	18803	16	0.011324	0	10
23	3233556	25	0.888241	0	15
24	559966	22	0.107807	0	14
25	1161412	23	0.208261	0	13
26	3012022	25	0.496841	0	15
27	533665	21	0.124831	0	15
28	6472	13	0.001727	0	7
29	1258485	23	0.280503	0	13
30	1506581	24	0.339236	0	16
31	2082556	24	0.385179	0	14
32	28816	16	0.011439	0	12
33	57963	18	0.013533	0	16
34	1339032	23	0.254614	0	13
35	5227219	26	0.905221	0	14
36	10582097	27	2.624516	0	17
37	618550	22	0.147094	0	14
38	5647709	26	1.706912	0	14
39	707091	22	0.163143	0	12
40	3906491	25	0.923802	0	13
41	13166	14	0.003223	0	8
42	4826279	25	1.937003	0	19
43	445186	21	0.144813	0	11
44	5301125	26	1.864663	0	16
45	1521264	24	0.563684	0	14
46	2550556	24	0.980459	0	20
47	60744	18	0.016164	0	14
48	1071876	23	0.322125	0	15
49	542261	21	0.263934	0	11
50	13426501	28	4.526481	0	16
51	323493	20	0.193694	0	12
52	9617303	27	3.820104	0	15

53	160297	19	0.112137	0	11
54	5150682	26	2.409397	0	16
55	86884	18	0.046316	0	12
56	2296791	24	0.703312	0	16
57	60654	18	0.015615	0	8
58	1715624	24	0.403476	0	12
59	1336827	23	0.395881	0	17
60	2536222	24	0.445526	0	16
61	15171649	27	2.745663	0	19
62	3587527	25	0.65093	0	13
63	344582	21	0.073531	0	15
64	599226	22	0.111641	0	18
65	15073854	28	2.534702	0	14
66	277227	20	0.079401	0	16
67	10843669	27	1.782883	0	17
68	10295974	27	1.739071	0	15
69	4095213	25	0.723194	0	19
70	1665813	24	0.288254	0	10
71	1583030	24	0.269321	0	16
72	792904	22	0.1459	0	16
73	12496979	27	2.22905	0	15
74	5225955	26	0.890266	0	18
75	4088312	25	0.643657	0	11
76	4873453	26	0.821409	0	20
77	214527	20	0.05475	0	14
78	5735592	26	0.947567	0	16
79	28881	16	0.006254	0	10
80	10128430	27	1.916102	0	17
81	110829	19	0.051841	0	11
82	3745531	25	0.750995	0	21
83	12608	15	0.002714	0	11
84	42323	17	0.01202	0	13
85	15054	15	0.003047	0	7
86	3814064	25	0.741705	0	17
87	51080	17	0.02298	0	11
88	10083429	27	2.490407	0	17
89	216000	20	0.085088	0	8



90	269408	20	0.070453	0	12
91	9608157	27	2.1297	0	21
92	4963354	26	1.260554	0	18
93	761900	22	0.179827	0	12
94	779904	22	0.205069	0	14
95	713444	22	0.28311	0	12
96	156601	19	0.079204	0	17
97	197513	20	0.081726	0	8
98	365116	21	0.084786	0	9
99	1905883	24	0.365204	0	14
100	3411288	25	0.621559	0	13

Tabela 3.6 – Resultados do IDA\* para as instâncias do 8-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	2631	22	0.004969	9.774966	12
2	3276	23	0.005775	10.59429	15
3	145	17	0.000245	9.950617	13
4	2720	25	0.003309	11.77555	17
5	165	16	0.000207	7.096774	10
6	1734	22	0.00247	9.239794	12
7	1741	22	0.002756	10.43117	14
8	439	21	0.000565	10.74795	11
9	464	17	0.00085	7.584399	7
10	611	21	0.000642	11.49401	13
11	724	23	0.001261	11.7103	15
12	1659	23	0.002166	10.90919	11
13	372	19	0.000668	9.049839	13
14	1420	22	0.001851	9.650211	14
15	465	19	0.000543	8.188131	13
16	2130	22	0.002737	9.634297	10
17	794	20	0.000779	9.225782	10
18	71	21	0.000088	12.86239	19
19	456	22	0.000464	11.52239	18

20	368	22	0.000623	10.87748	16
21	27	16	0.000059	9.428572	14
22	76	16	0.000067	8.516394	10
23	2805	25	0.00289	11.12368	15
24	805	22	0.000693	10.19793	14
25	1666	23	0.001522	10.2797	13
26	2470	25	0.002366	10.33862	15
27	1294	21	0.001135	9.674256	15
28	100	13	0.000106	6.926554	7
29	1609	23	0.00141	11.25812	13
30	225	24	0.000212	13.97465	16
31	1820	24	0.001716	11.51804	14
32	129	16	0.000213	9.446511	12
33	37	18	0.000054	10.05085	16
34	1500	23	0.001573	10.92499	13
35	4075	26	0.002826	11.36324	14
36	5873	27	0.005478	12.1105	17
37	487	22	0.000418	11.70088	14
38	5296	26	0.003492	11.09388	14
39	2349	22	0.001891	9.767512	12
40	5296	25	0.004068	10.85601	13
41	125	14	0.000185	7.920188	8
42	3436	25	0.004404	11.44083	19
43	1193	21	0.001245	9.667332	11
44	9239	26	0.008252	10.24244	16
45	2256	24	0.002579	10.42899	14
46	626	24	0.000946	13.13673	20
47	92	18	0.00012	10.04027	14
48	1145	23	0.001375	11.03241	15
49	1201	21	0.002079	10.72424	11
50	5557	28	0.00751	12.39866	16
51	730	20	0.000956	9.963636	12
52	9355	27	0.014001	10.63354	15
53	661	19	0.001229	8.776682	11
54	2195	26	0.003192	12.0853	16
55	257	18	0.000324	9.281031	12
56	2440	24	0.004145	10.66248	16

57	339	18	0.000575	8.489547	8
58	2316	24	0.003543	10.87406	12
59	272	23	0.000202	13.17483	17
60	3401	24	0.002775	10.82536	16
61	9544	27	0.011518	11.49949	19
62	8845	25	0.014924	9.668015	13
63	360	21	0.00055	10.34064	15
64	103	22	0.000144	13.3125	18
65	11359	28	0.01582	11.5501	14
66	406	20	0.00058	9.658753	16
67	8302	27	0.010533	11.22328	17
68	6762	27	0.010799	11.85677	15
69	2421	25	0.004378	11.35343	19
70	3944	24	0.007224	9.623235	10
71	899	24	0.000925	11.5017	16
72	868	22	0.00139	10.48927	16
73	14476	27	0.015007	10.9017	15
74	3141	26	0.004522	11.71785	18
75	8979	25	0.007549	9.914412	11
76	1631	26	0.00243	11.58959	20
77	413	20	0.000368	9.480118	14
78	8936	26	0.007804	10.4408	16
79	166	16	0.000219	8.793706	10
80	7986	27	0.00863	11.35154	17
81	490	19	0.000615	8.27494	11
82	324	25	0.000412	14.12974	21
83	56	15	0.000105	7.910112	11
84	83	17	0.000098	9.681481	13
85	186	15	0.000119	7.261981	7
86	2713	25	0.003695	11.46931	17
87	206	17	0.000313	9.240687	11
88	5691	27	0.005586	11.7926	17
89	1408	20	0.002044	8.118837	8
90	573	20	0.000777	9.419624	12
91	2764	27	0.002267	11.32162	21
92	2791	26	0.003158	10.96847	18
93	2006	22	0.002819	9.711864	12

94	1238	22	0.001027	10.95578	14
95	1016	22	0.000992	10.97275	12
96	244	19	0.000285	9.900744	17
97	722	20	0.000745	9.404429	8
98	2213	21	0.002158	8.08958	9
99	2265	24	0.001357	11.27321	14
100	3613	25	0.003732	10.67336	13

Tabela 3.7 – Resultados do GBFS para as instâncias do 8-puzzle.

Número da instância	Nodos/estados expandidos	Comprimento da solução ótima	Tempo para atingir <i>goal</i> (segundos)	Valor médio da função heurística	Valor da função heurística no estado inicial
1	462	112	0.000862	6.674473	12
2	216	79	0.000395	7.104452	15
3	269	69	0.000373	6.236167	13
4	286	87	0.000381	6.713562	17
5	16	16	0.000029	5.555555	10
6	257	48	0.000517	6.155148	12
7	206	48	0.000315	6.259787	14
8	168	49	0.000286	6.870044	11
9	45	19	0.000072	5.566929	7
10	174	69	0.000284	7.673774	13
11	45	31	0.000123	7.757812	15
12	380	101	0.000649	6.831901	11
13	104	47	0.000175	5.671378	13
14	377	102	0.000735	6.287081	14
15	89	41	0.000251	5.734694	13
16	376	102	0.001046	6.235407	10
17	110	50	0.000245	6.013333	10
18	112	59	0.000337	6.460784	19
19	137	28	0.000308	6.922667	18
20	152	66	0.000416	6.900474	16
21	399	98	0.001114	6.314079	14
22	195	48	0.000488	6.339622	10
23	251	71	0.000613	6.695335	15

24	181	60	0.000465	7.118367	14
25	289	87	0.000661	6.287671	13
26	290	81	0.000956	6.476846	15
27	146	67	0.000487	6.771289	15
28	17	15	0.000056	5.3	7
29	143	57	0.000385	6.714286	13
30	433	108	0.001196	6.601829	16
31	237	68	0.000779	6.582946	14
32	220	62	0.000505	6.299003	12
33	237	80	0.000352	6.510769	16
34	318	93	0.000668	6.56701	13
35	396	118	0.001126	6.547445	14
36	66	53	0.000258	9.174864	17
37	252	64	0.000755	6.138528	14
38	312	94	0.001609	6.489607	14
39	191	70	0.000679	6.619231	12
40	165	75	0.000427	7.522421	13
41	126	28	0.000319	5.77971	8
42	88	45	0.000232	7.190871	19
43	374	111	0.001196	6.269305	11
44	242	80	0.000718	6.775384	16
45	422	94	0.000817	6.516239	14
46	82	46	0.000175	8.658009	20
47	19	18	0.000056	7.592593	14
48	158	47	0.000427	6.780093	15
49	315	95	0.001019	6.418098	11
50	282	88	0.000895	7.368011	16
51	308	62	0.000828	7.066667	12
52	111	51	0.000323	6.903974	15
53	201	51	0.000663	6.092391	11
54	319	100	0.000809	7.13242	16
55	335	90	0.001202	6.501085	12
56	45	36	0.000107	7.228346	16
57	204	62	0.000427	6.587388	8
58	117	58	0.00024	8.228395	12
59	100	57	0.000342	7.08	17
60	91	48	0.000275	6.160643	16

61	233	77	0.000585	6.822684	19
62	133	27	0.000301	6.210959	13
63	459	89	0.000882	6.670616	15
64	196	74	0.0005	7.155722	18
65	238	96	0.00075	8.197227	14
66	20	20	0.000089	8.109091	16
67	174	57	0.000457	7.222222	17
68	259	83	0.000775	6.873061	15
69	82	43	0.000237	6.942983	19
70	165	56	0.000376	6.169643	10
71	389	114	0.000552	6.425532	16
72	138	44	0.000439	6.5625	16
73	161	73	0.000387	7.337054	15
74	183	64	0.000482	6.607646	18
75	269	73	0.000669	6.108725	11
76	191	62	0.00029	6.95	20
77	163	46	0.000421	6.193694	14
78	286	74	0.000754	6.638677	16
79	241	80	0.000778	6.262444	10
80	325	91	0.000733	6.59305	17
81	120	41	0.000265	6.020833	11
82	293	77	0.000704	6.871128	21
83	71	39	0.000173	5.454082	11
84	18	17	0.000087	7.326923	13
85	119	41	0.000534	5.883234	7
86	159	67	0.000402	7.498835	17
87	89	41	0.000256	6.086066	11
88	359	121	0.001026	6.866197	17
89	240	44	0.000498	5.918305	8
90	399	106	0.000886	6.30243	12
91	439	117	0.000845	6.793585	21
92	151	72	0.000447	7.068558	18
93	189	58	0.000665	6.454369	12
94	70	26	0.000232	9	14
95	146	40	0.000269	6.571429	12
96	146	37	0.000382	6.4025	17
97	131	38	0.000385	6.994413	8

98	71	31	0.000241	5.413265	9
99	211	64	0.000627	6.622838	14
100	181	83	0.000618	7.017787	13