



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**BRUNO TEIXEIRA DE SOUSA**

**SOLUÇÃO HEURÍSTICA APLICADA AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS**

**CRATEÚS**

**2019**

BRUNO TEIXEIRA DE SOUSA

SOLUÇÃO HEURÍSTICA APLICADA AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Ciência da Computação  
do Campus Crateús da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Prof. Ma. Lisieux Marie  
Marinho dos Santos Andrade

Coorientador: Prof. Me. Luiz Alberto  
do Carmo Viana

CRATEÚS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S696s Sousa, Bruno Teixeira de.

Solução heurística aplicada ao problema de alocação de salas da Universidade Federal do Ceará- campus Crateús / Bruno Teixeira de Sousa. – 2019.  
113 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Ciência da Computação, Crateús, 2019.

Orientação: Profa. Ma. Lisieux Marie Marinho dos Santos Andrade.

Coorientação: Profa. Ma. Luiz Alberto do Carmo Viana.

1. Problema de Alocação de Salas. 2. Meta-heurística. 3. Modelo Computacional. 4. Gerador de Instâncias. 5. Busca Tabu. I. Título.

CDD 004

---

BRUNO TEIXEIRA DE SOUSA

SOLUÇÃO HEURÍSTICA APLICADA AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Ciência da Computação  
do Campus Crateús da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em: 02 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ma. Lisieux Marie Marinho dos Santos  
Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Luiz Alberto do Carmo  
Viana (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Jefferson Lourenço Gurguri  
Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE)

---

Prof. Dr. Renê Pereira Gusmão  
Universidade Federal do Sergipe (UFSE)

Dedico este trabalho a minha mãe Luciana Soares, meu pai José Teixeira e meu irmão José Rodrigo por todo apoio e carinho.

## AGRADECIMENTOS

À minha Mãe e ao meu Pai, por sempre me proporcionar acesso a um ensino de qualidade e por sempre zelar por um ambiente familiar com muito carinho, atenção, amparo, amor, respeito, companheirismo. Sobretudo um suporte sólido para todos os momentos difíceis. Irmão, seu apoio também foi vital.

Em especial à minha amada Mãe por todas as horas de sonos perdidas juntos. Os momentos onde ficava à minha espera para antes de mais horas e horas de estudos sempre através de muitas conversas me repassar confiança e clamaria como só ela sabe proporcionar.

Aos meus orientadores, Profa. M.e. Lisieux Marie Marinho dos Santos Andrade e Prof. M.e. Luiz Alberto do Carmo Viana, pelas suas formidáveis orientações, tanto pelos seus elogios e críticas. Como pela calma e paciência em todas as etapas do trabalho.

Aos meus amigos de graduação onde tivemos diversas longas horas de discussão e motivação mútuas. Todos os obstáculos ultrapassados durante essa minha trajetória acadêmica não teria virado viável sem companheirismo dos meus amigos e minhas amigas que estiveram ao meu lado durante toda essa caminhada. Em especial Mârdonio Vieira, Uálison Rodrigues, Wislla Nuânska, Paulo Henrique, Tiago Rocha, Luiza Ananda, Icaro de Sena, Saori Costa e Ayrton Sousa . Como também aos amigos de outros cursos como Lara Carneiro, Ariane Carvalho, Klayre Sousa, Ana Larissa e especialmente Débora Martins.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Por todos que a mim se dedicaram, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. Em especial Andre Meireles, Lívio Freire, Rennan Dantas, Filipe Fernandes, Allysson Allex e Giannini Italino.

Agradeço a todos os servidores do Campus da UFC em Crateús por todo o suporte proporcionado a minha pessoa durante esses quase 5 anos. Em especial Aline Pinho, Amanda Maria, Marcella Bezerra, Felipe Ferreira e a carinhosa Tia Ana Célia.

Agradecer a minha amiga Patricia Farias por todas as noites em claro que passamos juntos entre conversas e conselhos durante toda essa caminhada onde no início dessa jornada nos conhecemos.

Agradeço a toda à família Núcleo Popular em especial a Adylson Galdino, Nayanne Vieira, Matheus Figueiredo, Vanuzia Vasconcelos, Stefany Tavares, Samara Paulino, Samara Bernandes. Por todas as vibrações positivas e os conselhos.

“O planeta não vai ser salvo por quem tira notas altas nas provas, mas por aqueles que se importam com ele.”

(Howard Gardner)

## RESUMO

O problema de Alocação de Salas possui natureza combinatória, devido às relações entre elementos como salas, professores, recursos físicos, entre outros. Desta forma, surge a necessidade de sanar conflitos no mundo real, visto que nos ambientes acadêmicos a explosão combinatória dos elementos é elevada e a execução desta atividade de forma manual é inviável. Sendo assim, o presente trabalho apresenta um modelo computacional, um gerador de instâncias e uso da estratégia meta-heurística Busca Tabu aplicada ao Problema de Alocação de Salas no contexto da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús. Experimentos com 748 casos de testes, distribuídos em 4 cenários, revelam resultados promissores constatando a eficiência da metodologia adotada.

**Palavras-chave:** Problema de Alocação de Salas. Meta-heurística. Modelo Computacional. Gerador de Instâncias. Busca Tabu

## **ABSTRACT**

The problem of Room Allocation is the combinatorial nature, the answers among the elements as rooms, physical resources, among others. In this way, the outbreak of conflicts of life in the real world, since the academic environments, the combination of elements and the trainings of manual form is impracticable. Thus, the present work presents a computational model, a generator of instances and use of the metaheuristic strategy, Campus Crateús. Experiments with 748 test cases, distributed in 4 scenarios, show promising results in the adopted methodology.

**Keywords:** Room Allocation Problem. Meta-heuristics. Computational Model. Instance Generator. Search Tabu

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação gráfica para um problema de minimização . . . . .	20
Figura 2 – Heurística de construção gulosa de uma solução inicial. . . . .	21
Figura 3 – Heurística de construção aleatória de uma solução inicial. . . . .	22
Figura 4 – Método da Descida. . . . .	23
Figura 5 – Diagrama da Organização do Problema de Alocação de Horários . . . . .	26
Figura 6 – Representação computacional da solução para problema PAS. . . . .	31
Figura 7 – (a) Representação da escolha de um par Professor-Turma, (b) Ilustra a troca entres os elementos (c) e Representa a solução vizinha encontrada . . . . .	32
Figura 8 – (a) Representação da escolha de uma Turma (b), Ilustra a Alocação da Turma e (c) Representa a solução vizinha encontrada . . . . .	32
Figura 9 – (a) Representação da escolha de uma Turma, (b) Ilustra a realocação da Turma em outra sala e (c) Representa a solução vizinha encontrada . . . . .	33
Figura 10 – Movimentação Busca Tabu. . . . .	34
Figura 11 – Algoritmo de Busca Tabu. . . . .	35
Figura 12 – Algoritmo do troco Genérico. . . . .	35
Figura 13 – Algoritmo da Construção Híbrida. . . . .	36
Figura 14 – Algoritmo de Pertubação . . . . .	36
Figura 15 – Algoritmo do Busca Tabu Modificado . . . . .	37
Figura 16 – Tempo Exato instâncias reais. . . . .	48
Figura 17 – Tempo Exato instâncias geradas. . . . .	48
Figura 18 – Taxa de Qualidade na Obtenção de Boas Soluções . . . . .	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem utilizada por perfil de professor em cada Classe de instância. . .	46
Tabela 2 – Quantidade de professores por perfil de Carga Horária em Sala de Aula . . .	46
Tabela 3 – Quantidade de instâncias por classes. . . . .	46
Tabela 4 – Dados dos testes realizados nos conjuntos de instâncias reais e geradas. . . .	47
Tabela 5 – Parâmetros Adotados para os Cenários de Testes do Procedimento de Busca Tabu . . . . .	49
Tabela 6 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	56
Tabela 7 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	57
Tabela 8 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	59
Tabela 9 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	61
Tabela 10 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	64
Tabela 11 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	66
Tabela 12 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	68
Tabela 13 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	70
Tabela 14 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	73
Tabela 15 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	75
Tabela 16 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	77
Tabela 17 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	79

Tabela 18 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	81
Tabela 19 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	82
Tabela 20 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	83
Tabela 21 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	84
Tabela 22 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	86
Tabela 23 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	87
Tabela 24 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	88
Tabela 25 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	89
Tabela 26 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	91
Tabela 27 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	92
Tabela 28 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	93
Tabela 29 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	94
Tabela 30 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100. . . . .	96
Tabela 31 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200. . . . .	97
Tabela 32 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300. . . . .	98
Tabela 33 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400. . . . .	99

Tabela 34 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 1. . . .	100
Tabela 35 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 2. . . .	101
Tabela 36 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 3. . . .	102
Tabela 37 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 4. . . .	103
Tabela 38 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 5. . . .	104
Tabela 39 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 6. . . .	105
Tabela 40 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 7. . . .	106
Tabela 41 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 1. . . . .	107
Tabela 42 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 2. . . . .	108
Tabela 43 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 3. . . . .	109
Tabela 44 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 4. . . . .	110
Tabela 45 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 5. . . . .	111
Tabela 46 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 6. . . . .	112
Tabela 47 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 7. . . . .	113

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Cenário da Educação Superior</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Evasão Escolar</i>	<i>16</i>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Gerais</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>17</i>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>NOTAÇÕES E DEFINIÇÕES</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Problema de Otimização Combinatória</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Otimização Computacional</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Conceito de Vizinhança</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Ótimo Local</b>	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Ótimo Global</b>	<b>19</b>
<b>2.6</b>	<b>Procedimentos Heurísticos</b>	<b>20</b>
<i>2.6.1</i>	<i>Heurística Construtivas</i>	<i>20</i>
<i>2.6.2</i>	<i>Heurística de Refinamento</i>	<i>22</i>
<b>2.7</b>	<b>Meta-heurísticas</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>PROBLEMA DA ALOCAÇÃO DE SALAS</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Otimização e o Problema de Alocação de Sala</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Problema de Horários</b>	<b>25</b>
<i>3.2.1</i>	<i>Problema de Horários de Aula</i>	<i>26</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Problema de Horários de Curso</i>	<i>27</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Problema de Horários de Atividade</i>	<i>28</i>
<b>4</b>	<b>HEURÍSTICA PROPOSTA</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Representação de uma solução</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Estrutura de Vizinhanças e Movimentos</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Busca Tabu</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Geração da Solução Inicial</b>	<b>35</b>
<b>4.5</b>	<b>Estrutura Heurística Utilizada</b>	<b>36</b>

<b>5</b>	<b>MODELO MATEMÁTICO</b> . . . . .	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Restrições</b> . . . . .	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Entradas</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.3</b>	<b>Variáveis</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.4</b>	<b>Restrições e Função Objetivo</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>5.5</b>	<b>Linearização</b> . . . . .	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS</b> . . . . .	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Ambiente de Testes</b> . . . . .	<b>45</b>
<b>6.2</b>	<b>Gerador de Instâncias</b> . . . . .	<b>45</b>
<b>6.3</b>	<b>Resultados do Método Exato</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>6.4</b>	<b>Resultados da Heurística</b> . . . . .	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>52</b>
	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE A – Resultados da Classe 1</b> . . . . .	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE B – Resultados da Classe 2</b> . . . . .	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE C – Resultados da Classe 3</b> . . . . .	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE D – Resultados da Classe 4</b> . . . . .	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE E – Resultados da Classe 5</b> . . . . .	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE F – Resultados da Classe 6</b> . . . . .	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE G – Resultados da Classe 7</b> . . . . .	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE H – Taxa de Erro da Busca Tabu na relação Professor-Turma</b> .	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE I – Taxa de Erro da Busca Tabu na relação Professor-Dia</b> . .	<b>107</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Estatísticas do Ministério da Educação (MEC) apontam o crescimento do ingresso de estudantes no Ensino Superior. Segundo Franco (2008), tal crescimento é justificado pelo forte investimento do Governo Federal na interiorização das Instituições Federais de Ensino em cidades do interior do país, e também ao estímulo à programas de apoio financeiro para estudantes na esfera privada.

Proporcional à entrada de alunos nas instituições, deve ser o esforço das organizações educacionais no preparo dos ambientes físicos, programas pedagógicos e equipe docentes. Devendo ser garantida no início do período letivo, a alocação desses recursos, e um destes procedimentos no ensino presencial é alocação de turmas, salas e professores.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), instalada no município de Crateús, possui atualmente a oferta de cinco cursos de bacharelado. Por tratar-se de um novo espaço acadêmico, a entrada de novos estudantes e a oferta de disciplinas cresce a cada novo período, e com o passar dos anos, a quantidade de alunos, disciplinas e professores aumentam. Como consequência, a complexidade do procedimento da alocação de turmas aumenta, sendo então de extrema relevância o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas para realizar a automatização desse processo. A necessidade de explorar e encontrar uma boa configuração de horários, em termos de Otimização Combinatória (OC), foi modelada e denominada como Problema de Alocação de Salas (PAS). Classificado como NP-difícil, tem por objetivo a construção de uma solução viável em um tempo computacionalmente razoável (EVEN *et al.*, 1975; CARTER; TOVEY, 1992).

Dentro deste cenário, o presente trabalho baseia-se no uso de estratégias computacionais de otimização. Por exemplo, faz-se a construção de um modelo matemático e desenvolve-se heurísticas para o Problema da Alocação de Salas da Universidade Federal do Ceará em Crateús.

## 1.1 Justificativa

### 1.1.1 *Cenário da Educação Superior*

Segundo (FRANCO, 2008) a organização do Ensino Superior teve a sua estruturação iniciada em meado de 1934 por meio do inicio da Universidade de São Paulo, registros revelam que, no pós-guerra, o Brasil apresentou a maior expansão no sistema de educação, em todos os níveis. Martins (2000) afirma que com o advento do final da década passada, o crescimento da

Educação Superior no país atingiu média de 7% ao ano, produzindo uma diversificação da forma de atendimento aos ingressantes, sobretudo na graduação.

Censo realizado pelo MEC em 2016 demonstra que as instituições receberam quase três milhões de novos discentes, contudo esse número representa apenas um crescimento de 0,2% em relação ao ano anterior. Tendo uma ressalva para as Instituições privadas onde abrigam a grande parcela de ingressantes sendo 75,3% delas, sobretudo uma tênue queda de 0,3% nas matrículas é relevado entre 2015 e 2016.

Os dados apresentados pelo Censo alarmaram ainda as autoridades educacionais evidenciando as metas do Plano Nacional de Educação (PNE), que prospecta um aumento para a taxa de atuação de jovens na faixa de 18 a 24 anos no ensino superior dos atuais 17,8% para 33%.

### **1.1.2 Evasão Escolar**

A Evasão Escolar é um fenômeno social complexo definido como a interrupção no ciclo de estudos (GAIOSO, 2005). É um dos maiores problemas que atinge as Instituições do Ensino Superior Brasileiro, seja no âmbito público ou privado. O abandono dos cursos por alunos de forma precoce proporciona uma perda coletiva: social, de recursos e tempo dos envolvidos no árduo processo de ensino, pois segundo Lobo (2012) essa perda perpassa pelos alunos, seus professores, Instituição de Ensino, o sistema de educação e toda a sociedade.

O processo de desistência estudantil no Ensino Superior atinge também a escala internacional demonstrando um impacto negativo nos resultados dos sistemas educacionais. Por Filho *et al.* (2007) o fator econômico do aluno é a maior razão para a interrupção da vida estudantil, e engloba a ordem acadêmica, além das respectivas do aluno no curso à Instituição como papel positivo no que diz respeito ao incentivo da permanência do aluno. Em Andriola *et al.* (2006, p. 365), que também avalia a investigação das razões para evasão, os autores evidenciam que:

"O envolvimento docente com o ensino de graduação [...] é insatisfatório para 41,1% dos entrevistados; é satisfatório para 36,8% dos coordenadores, embora destaquem que muitos docentes priorizam o ensino de pós-graduação e a pesquisa".

O maior engajamento dos docentes com a graduação é conseqüentemente um maior

suporte para permanência discente, mensurado como elemento expressivo para uma parcela significativa dos coordenadores (74%) entrevistados por Adriola, Adriola e Moura (2006). Desta forma, o presente estudo apresenta-se como ferramenta importante para uma melhor distribuição dos horários docentes em sala de aula, preservando a familiaridade individual docente com os componentes curriculares, otimizando assim seu tempo para realização de atividades extraclasse que estimulem a permanência dos alunos no curso.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 *Objetivo Gerais***

Desenvolver e empregar uma modelagem matemática e um procedimento heurístico a fim de otimizar a tarefa de alocação de salas de aula para a Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús.

### **1.2.2 *Objetivos Específicos***

- Caracterizar modelo computacional para o Problema de Alocação de Salas ao contexto da UFC Crateús;
- Implementar procedimento heurístico para o Problema de Alocação de Salas;
- Avaliar o impacto da solução heurística, visto o esforço computacional, frente aos resultados obtidos nos experimentos exatos.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Para um melhor compreensão e organização, o presente trabalho está disposto em 7 capítulos. No Capítulo 2, trata das notações e definições para melhor entendimento do capítulos seguintes. O Capítulo 3 detalha o Problema de Alocação de Salas no contexto educacional. No Capítulo 4, descreve-se a heurística utilizada. No Capítulo 5, detalha-se o modelo matemático não linear desenvolvido e sua linearização. O Capítulo 6, descreve e analisa os resultados experimentais obtidos. Por fim, o Capítulo 7 apresenta a conclusão e a proposta para trabalhos futuros.

## 2 NOTAÇÕES E DEFINIÇÕES

Nesta seção apresenta notações e definições que são base para este trabalho. A primeira seção apresenta o conceito do problema de otimização combinatória. Após isso, é apresentado conceito de vizinhança, ótimo local e global. Por fim, os procedimentos heurísticos são apresentados.

### 2.1 Problema de Otimização Combinatória

Uma grande variedade de problemas reais que surgem na indústria, economia, logística, etc., são problemas de decisão NP-completos, e tem suas respectivas versões de otimização NP-difíceis. Formalmente, um problema de otimização, para o caso de minimização, pode ser descrito como:

$$\min f(s) \quad (2.1)$$

$$\text{sujeito a } s \in S \quad (2.2)$$

Nessa descrição,  $f : S \rightarrow R$  é a função-objetivo, a ser minimizada na região viável  $S$ , isto é, o conjunto finito das possíveis soluções viáveis para o problema abordado. Desta forma, Otimização Combinatória compreende o processo de descobrir e comparar soluções factíveis até que nenhuma solução melhor seja capaz de ser encontrada. Essas soluções são classificadas como boas ou ruins em termos de um objetivo Kalyanmoy *et al.* (2001).

### 2.2 Otimização Computacional

A Otimização Computacional se refere a um conjunto de métodos matemáticos direcionados para a seleção de uma solução ótima (submetidos a alguns critérios) partindo de um universo de alternativas disponíveis. Segundo Gamarra e Guerrero (2015), efetivamente, a Otimização objetiva encontrar os melhores valores disponíveis para alguma função-objetivo, dentro de um domínio determinado ou limitado por um conjunto de restrições. Nota-se ainda que há uma ampla gama de funções-objetivo e tipos de domínios.

### 2.3 Conceito de Vizinhança

A estrutura de vizinhança é uma função  $N : S \rightarrow 2^S$ , em que determina, para todo  $s \in S$ , um conjunto de vizinhos  $N(s) \subseteq S$ . O conjunto  $N(s)$  é denominado de vizinhança de  $s$ .

Segundo Coelho (2006), uma solução  $s'$  faz parte da vizinhança da solução  $s$  se, e somente se,  $s'$  resultou de uma modificação de  $s$ , de maneira que continue a fazer parte do conjunto de soluções possíveis.

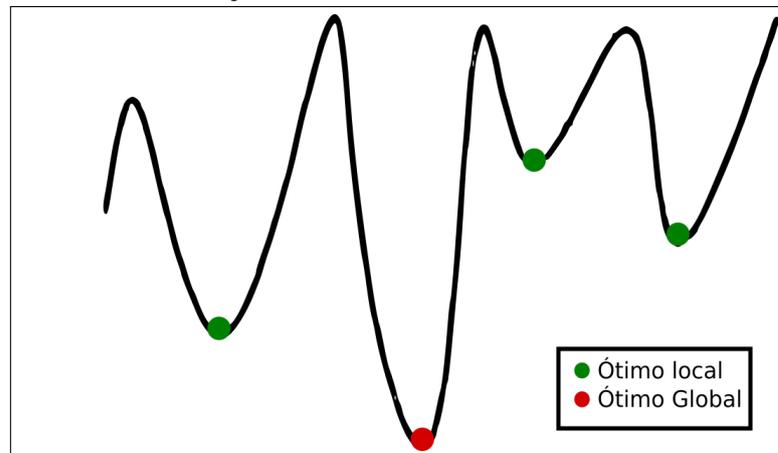
### 2.4 Ótimo Local

Geometricamente, as restrições lineares definem um poliedro convexo, que é autodenominado um conjunto de pontos viáveis. Em alguns casos, chegamos a valores da qual alterações discreta não conduz a resultados melhores, essas soluções chamamos de ótimo local, como podemos observar na Figura 1 os pontos verde.

### 2.5 Ótimo Global

Um problema de otimização temos uma função objetivo e um conjunto de restrições, os dois relacionados às variáveis de decisão. Os valores factíveis às variáveis de decisão são determinados pelas restrições impostas sobre essas variáveis, construindo um conjunto discreto (finito ou não) de soluções viáveis a um problema. A solução para o problema de otimização, ou seja, o ótimo global, é menor (ou maior) valor possível para a função objetivo para o qual o valor atribuído às variáveis não viole nenhuma restrição. Nota-se que, na Figura 1, assim o ponto vermelho como mínimo global no espaço de solução.

Figura 1 – Representação gráfica para um problema de minimização



Fonte: Próprio autor

## 2.6 Procedimentos Heurísticos

Uma heurística é um conjunto de regras e métodos que conduzem à descoberta de soluções para a resolução de problemas computacionais, fornecendo, em geral, soluções satisfatórias, em um período de tempo razoável Souza (2008). O conceito “satisfatório” e “razoável” baseia-se no contexto inerente a heurística aplicada. Por exemplo, a alocação de turmas em um conjunto de salas será razoável se todas as turmas forem dispostas de maneira que não ocorra sobreposição de duas ou mais turmas. No entanto, não será razoável se necessitar de mais salas adicionais para que ocorra a alocação das turmas.

Desta forma, heurísticas são técnicas inspiradas em processos intuitivos que buscam uma boa solução, sobre um custo computacional aceitável, sem, no entanto, estar capacitada a garantir a sua otimalidade, como também garantir quão próximo ela está da solução ótima (SOUZA, 2008). Segundo Souza (2008), a grande maioria das heurísticas são algoritmos baseados em construção e algoritmos de melhoria (refinamento). Nas heurísticas de construção, a solução é gerada sem partir de uma solução inicial. Assim, os métodos são responsáveis por gerar uma solução.

### 2.6.1 Heurística Construtivas

e busca tabu na resolução do problema de alocação de salas. Os algoritmos baseados em construção partem de uma solução vazia, e adicionam elemento a elemento, respeitando os critérios heurísticos até construir uma solução. Segundo Souza (2008), pode-se compreender os

métodos aleatórios como as heurísticas de construção mais simples.

Em métodos gulosos, a cada passo da construção da solução, é selecionado um único elemento, onde o candidato selecionado é o "melhor" segundo o critério da heurística. O término do processo ocorre quando todos os candidatos são analisados. Segundo Souza (2008), as heurísticas gulosas, em geral, constroem soluções de qualidade superior à média das soluções aleatórias. Contudo, apesar de apresentar esse ponto positivo, há uma desvantagem: após realizar uma decisão, em um certo momento, da escolha de um elemento, esse não pode ser alterado no caso da escolha ser uma má decisão. Tal desvantagem pode ser contornada adicionando uma aleatoriedade na construção. O aspecto da diversidade depende das soluções finais geradas em pequena escala.

Segundo Ferreira (2004), para problemas com complexidade elevada, a aplicação de estratégias heurísticas, no geral, não fornece boas soluções, tendo em vista que podem ser melhoradas com o complemento com os métodos de refinamento (melhoria).

A Figura 2 representa o pseudocódigo para a construção de uma solução inicial para um determinado problema de otimização que utiliza a função gulosa  $g(\cdot)$ . Verifica-se que o  $t_{melhor}$  representa o melhor integrante do conjunto de elementos com o valor mais satisfatório de acordo com a função de avaliação  $g$ , ou seja, aquele  $t_{melhor}$  que possui o menor (maior) valor de  $g$  quando o problema abordado é de minimização (maximização).

Figura 2 – Heurística de construção gulosa de uma solução inicial.

<p><b>Algoritmo:</b> Construção Gulosa</p> <hr/> <pre> 1: procedimento ConstruçãoGulosa(<math>g(\cdot)</math>, <math>s</math>) 2: <math>s \leftarrow \{\}</math> 3: Inicialize o conjunto <math>C</math> de elementos candidatos 4: <b>ENQUANTO</b> (<math>C \neq \{\}</math>) <b>FAÇA</b> 5:     <math>g(t_{melhor}) = \text{melhor } \{g(t) \mid t \in C\}</math> 6:     <math>s \leftarrow s \cup \{t_{melhor}\}</math> 7:     Atualize o conjunto <math>C</math> de elementos candidatos; 8: <b>fim</b> 9: <b>retorne</b> <math>s</math>; </pre> <hr/>
--

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2008)

A estrutura de construir uma solução utilizando o algoritmo apresentado na Figura 2 ocorre de forma bastante simples, escolhendo a cada processamento do laço o melhor elemento candidato até concluir a verificação de todos. Após isso retorna o resultado que é o conjunto  $s$ .

Outro processo utilizado para geração de uma solução inicial é a escolha de um

candidato de forma aleatória, em outras palavras, a cada passo é escolhido um elemento arbitrário a ser colocado no conjunto solução. A grande vantagem dessa metodologia reside na simplicidade da implementação, que faz uso de testes empíricos. A desvantagem é a baixa qualidade, em média, da solução final produzida, que geralmente requer um maior esforço computacional na fase de refinamento (SOUZA, 2008). A Figura 3 descreve o pseudocódigo que baseia-se na escolha aleatória.

Figura 3 – Heurística de construção aleatória de uma solução inicial.

<p><b>Algoritmo:</b> Construção Aleatória</p> <pre> 1: procedimento ConstruçãoAleatoria(g(.), s) 2: s ← {} 3: Inicialize o conjunto C de elementos candidatos 4: ENQUANTO ( C != {} ) FAÇA 5:     Escolha aleatoriamente t_escolhido ∈ C 6:     s ← s ∪ {t_escolhido} 7:     Atualize o conjunto C de elementos candidatos; 8: fim 9: retorne s; </pre>
---

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2008)

### 2.6.2 Heurística de Refinamento

Heurísticas de refinamento, também chamadas de heurísticas de melhoria ou busca local, constituem uma ampla classe de algoritmos cujo objetivo é procurar, a cada iteração, uma solução melhor quando comparada a solução vigente, explorando o conjunto de vizinhança. Essa família de heurísticas toma uma solução inicial qualquer, que pode ser obtida através de uma heurística construtiva. Desta forma, a definição de vizinhança é crucial em uma heurística de refinamento, visto que uma solução  $s$  pertencente ao espaço de soluções deve ser sempre acessível por qualquer outra solução em um número finito de passos (SOUZA, 2008).

Um exemplo desta classe de métodos é o descida/subida (*Descent/Uphill Method*) que, a partir de uma solução inicial qualquer, e com sucessivas iterações, realiza uma análise sobre todos os seus possíveis vizinhos, promovendo a locomoção exclusivamente para algum que venha a apresentar uma melhoria no atual valor da função de avaliação. A Figura 4 exibe o pseudocódigo do Método de Descida posto ao problema de minimização de uma função de avaliação  $f$ , partindo de uma solução inicial denotada por  $s$ , retratando a busca em uma determinada vizinhança  $N(\cdot)$ . Note que  $N(\cdot)$  representa toda a vizinhança de uma dada solução  $s$  que, formalmente, exprimimos por  $N(\cdot) = s' : s' \leftarrow s \oplus m$ .

Figura 4 – Método da Descida.

<p><b>Algoritmo:</b> Método de Descida</p> <hr/> <pre> 1: procedimento Descida(<math>f(\cdot)</math>, <math>N(\cdot)</math>, <math>s</math>) 2: <math>V = \{s' \in N(s) \mid f(s') &lt; f(s)\}</math> 3: ENQUANTO (<math> V  &gt; 0</math>) FAÇA 4:     Selecione <math>s' \in V</math>, onde <math>s' = \arg \min \{f(s') \mid s' \in V\}</math> 5:     <math>s \leftarrow s'</math> 6:     <math>V = \{s' \in N(s) \mid f(s') &lt; f(s)\}</math> 7: FIM 8: retorne <math>s</math> </pre> <hr/>
--

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2008)

## 2.7 Meta-heurísticas

As meta-heurísticas são heurísticas que possuem um propósito geral e se propõem a tentar escapar das armadilhas de ótimos locais ainda distantes de um ótimo global. Apresenta uma abordagem para explorar eficientemente o universo finito de soluções viáveis dos problemas de diversas naturezas. Segundo Becceneri (2008), podemos descrever resumidamente meta-heurística como mecanismos de alto nível para desbravar o universo de busca, tendo em vista que cada uma utiliza uma estratégia específica.

De acordo com Osman e Laporte (1996), supracitado em Blum e Roli (2003), meta-heurística é formalmente definida como um processo de geração iterativo, que rege uma heurística subordinada, de forma inteligente em diferentes conceitos para percorrer o espaço de busca. O qual deve ser modelado para um problema específico. Algumas das propriedades desejáveis para uma meta-heurística são:

- **Simplicidade:** deve ser simples e baseada em um princípio claro, que possa ser aplicável em geral;
- **coerência:** deve-se conseguir traduzir para o algoritmo, de forma natural, a ideia proposta pela meta-heurística;
- **Eficiência:** deve-se desprender um tempo computacional que seja razoável para a determinação da solução;
- **Efetividade:** deve-se encontrar as soluções ótimas para a maioria dos problemas propostos, para os quais se conhece a solução;
- **Robustez:** deve ser consistente, em uma ampla variedade de problemas testes;
- **Amigável:** deve ser fácil de entender e fácil de usar, e com a menor quantidade de parâmetros possíveis;

- **Inovação:** deve permitir sua utilização para novos tipos de aplicações.

Grande parte das meta-heurísticas cumprem com somente algumas das propriedades mencionadas anteriormente. No entanto, não existe uma meta-heurística que possa ser considerada a melhor, visto que dependem da natureza dos problemas e dos objetivos almejados.

### 3 PROBLEMA DA ALOCAÇÃO DE SALAS

A elaboração do quadro de horário no contexto educacional se tornou uma ação cíclica respeitando as características temporais das atividades, podendo ser anual, semestral ou qualquer outra modalidade utilizada. O problema da alocação de salas encontra-se inserido no campo da Pesquisa Operacional, visto que a complexidade da obtenção manual de uma solução é extremamente árdua.

A problemática de construir um horário é uma subclasse derivada da classe de problema combinatórios, dadas as suas características. No decorrer deste capítulo, serão apresentados elementos essenciais para a compreensão de algumas variantes desse problema.

#### 3.1 Otimização e o Problema de Alocação de Sala

A otimização combinatória promove, na maioria de seus estudos, buscas por soluções que atendam a um determinado conjunto de propriedades pertencentes ao problema tratado. Estes problemas, muitas vezes de natureza discreta, contêm em si combinações elevadas de seus elementos. Uma forma de solucionar tais problemas seria a enumeração simples de todas as possíveis soluções. Entretanto, para qualquer problema de um tamanho minimamente interessante (e útil), este método torna-se impraticável, já que o número de soluções possíveis é elevado.

Sua caracterização provém de duas naturezas de objetivo, que são: minimização ou maximização. Nos dois casos, tem-se uma função posta a um campo finito e enumerável. Entretanto, mesmo com domínio finito, algoritmos simples que verificam cada componente do domínio podem se tornar impraticáveis.

#### 3.2 Problema de Horários

De acordo com SOUZA (2000), o problema delinea-se basicamente pela existência de um conjunto de turmas, um conjunto de professores e um conjunto de horários reservados para a realização das aulas. O processo inicia após todas as turmas estarem montadas e o quadro de professores definido.

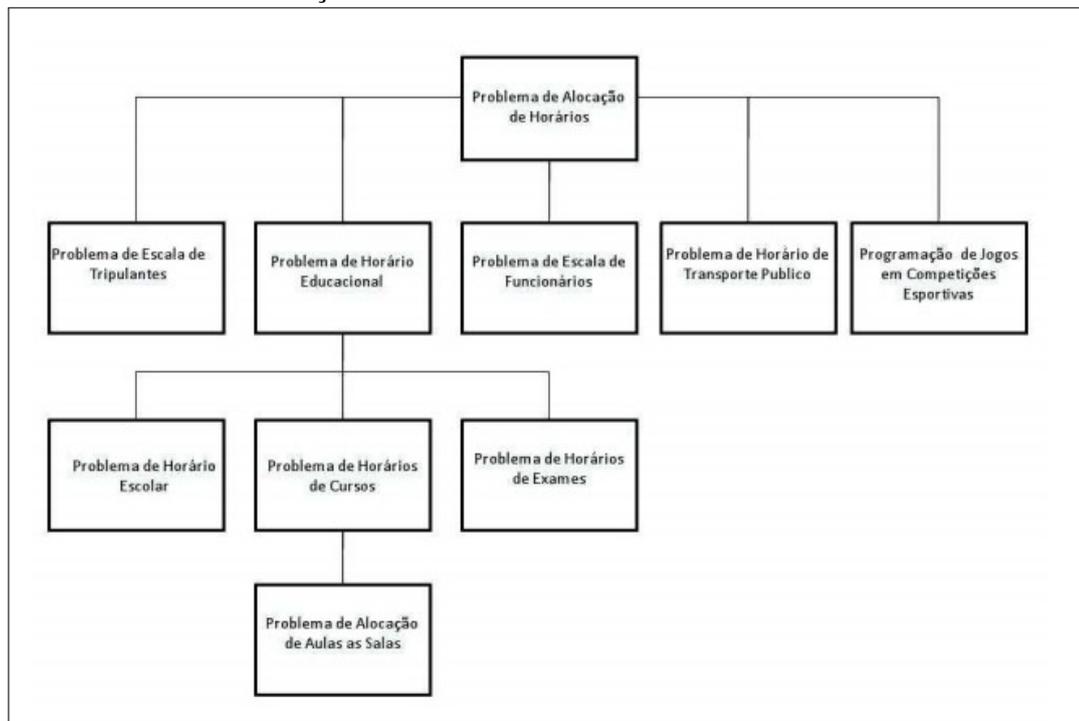
Os envolvidos solicitam aos professores que enviem as suas disponibilidades, ou seja, os horários em que eles podem ou preferem dar aulas. A partir dessas informações, tem-se todas as restrições que devem ser atendidas. Tais restrições são classificadas por: *hard*, prioritárias e que devem a qualquer custo ser atendidas; e *soft*, que necessitam ser satisfeitas o máximo

possível.

### 3.2.1 *Problema de Horários de Aula*

O problema de Horário de Aula encontra-se nas mais diversas Instituições, e consiste em escalonar um conjunto de aulas em uma quantidade fixa de horários. Esta classe de problemas tem uma ramificação extremamente grande e uma parcela que pode ser observada na Figura 5, em que ALVES (2010) expõe de forma representativa.

Figura 5 – Diagrama da Organização do Problema de Alocação de Horários



Fonte: (ALVES, 2010)

Relacionando ao problema de geração de horário a aulas, o trabalho de Cirino (2016) trata o Problema de Alocação de Aulas a Salas (PAAS), conduzindo a um caso de estudo do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo (USP), apresentando dois modelos de programação matemática inteira. A primeira modelagem aborda duas métricas de qualidade, que tem como objetivo minimizar o percentual de assentos livres nas salas e o número de trocas de salas das turmas. Além dessas, há restrições essenciais, como sobreposição de salas e conflito de horário. O segundo modelo, baseado no primeiro, adiciona mais três métricas de qualidade: uso e troca de sala; redução do deslocamento de currículo; restrição de salas ,preferencialmente vazias onde tem que atender a um conjunto de

salas que tem preferência em manter-se vazias. Cirino (2016) ataca o PAAS de três formas: resolução exata *CPLEX*, meta-heurísticas mono-objetivo empregando as seguintes heurísticas: Busca Local (BL), Busca Tabu (BT), GRASP, Algoritmo Genético (AG) e Algoritmo Genético Compacto (AGC) e por fim meta-heurísticas multi-objetivo aplicando heurística Algoritmo de Busca em Tabela (ABT).

Os resultados de performance utilizados por Cirino (2016) na abordagem mono-objetivo demonstram que o *CPLEX* tem desempenho superior em relação aos demais algoritmos, porém o *CPLEX* não foi capaz de solucionar as instâncias do conjunto 5x. A Busca local e o GA demonstraram bons desempenhos para uma quantidade grande de instâncias, todavia busca local mostra-se superior ao AG. Conseqüentemente o busca local se torna a melhor algoritmo para solucionar o PAAS. Na abordagem multi-objetivo, o ABT tem como busca o BL e AGC. Apesar do BL ter tido uma performance superior ao AGC no multi-objetivo para grandes instâncias, o AGC mostrou-se extremamente superior às outras buscas para instâncias grandes, tendo apenas obtido alguns resultados complementares ao mono-objetivo, visto que métodos mono-objetivo com baixo desempenho mostraram-se promissores na tática multi-objetivo.

### 3.2.2 *Problema de Horários de Curso*

O problema de Horário de Curso vem sendo aplicado no ambiente acadêmico, tendo como foco a alocação de aulas em uma Instituição com as características de uma Universidade típica. Tal problema consiste em conjunto de cursos, como por exemplo Fundamento de Programação, Álgebra, Cálculo etc, e para cada curso há um número de aulas. Existem também o conjunto de currículos (Ciência da Computação, Engenharia Civil, Medicina etc.). Cada currículo envolve um conjunto de cursos. Os estudantes podem efetuar matrícula em turmas dos cursos de seu currículo. Turmas de um determinado curso podem vir a ter estudantes de currículos distintos.

Partindo do pressuposto da existência de um conjunto de horários assegurado para a execução das aulas em cada horário, um número limitado de salas. De acordo com Coelho (2006), a formulação básica para o Problema de Horário de Curso fundamenta-se em elaborar um quadro semanal com o horário de todas as aulas de um conjunto de disciplinas de cursos universitários, com o objetivo de minimizar a sobreposição de encontros de disciplinas que têm estudantes em comum.

A finalidade do problema consiste em alocar as aulas dos cursos aos horários dispo-

níveis, concernente às restrições em relação a capacidade e disponibilidade dos espaços existente na universidade. Haja visto que nenhum estudante pode cursar duas aulas ao mesmo tempo.

Nascimento *et al.* (2005) apresentaram uma modelagem matemática para o Problema de Programação de Cursos, com aulas e horários de início e término bem definidos, para um cenário de cursos universitários. A dificuldade do problema, assim como no trabalho de Cirino (2016), está na alocação das aulas às salas, respeitando os horários e outras restrições. Sua abordagem classifica seus requisitos em essenciais e não-essenciais, e tem como objetivo medir e avaliar seus atendimentos. Por fim, apresentou resultados que indicam uma redução satisfatório no número de inviabilidade em relação a demanda maior que a capacidade.

### **3.2.3 Problema de Horários de Atividade**

O Problema de Escala de Atividades representa o problema de conter uma determinada quantidade de atividades para ser marcada em uma quantidade fixa de horários já definidos, onde uma quantidade de pessoas vão estar participando dessas atividade e as mesmas podem estar participando em diversas atividades. O principal problema é a sobreposição de horários onde os participantes estão em mais de uma atividade acontecendo simultaneamente. Para Ernst *et al.* (2004), "*prover a pessoa certa, no tempo certo, no custo adequado e ainda alcançar um alto nível de satisfação dos trabalhadores é um problema crítico para as organizações.*".

A preocupação de reduzir custo e otimizar recursos humanos se aplica nas mais diversas áreas inclusive na área da saúde. Sendo um alto custo realizar o atendimento de forma eficiente e ao mesmo tempo ocorrer um atendimento de forma eficaz para a sociedade se tornando uma combinação que preocupa desde o setor privado ao público. A necessidade de economizar nos gastos aplicados em médicos e hospitalares. Os altos valores exigidos nos planos de saúde em união com excessivos gastos nos hospitais públicos tem deixado cada vez mais uma grande parcela da população desassistida. Partindo do pressuposto saúde é um estado de bem-estar inerente a todo ser humano.

Abordando predileções individuais para a geração de alocações no contexto do Problema de Alocação de Escala de Trabalho, Poltosi (2007) apresenta uma modelagem matemática cuja função objetivo (FO) é composta por sete funções ponderadas por pesos individuais, com a finalidade de identificar e minimizar quais dessas são violadas na obtenção de uma solução factível. O problema é resolvido por meio de uma meta-heurística Busca Tabu (BT) combinada com Algoritmos Genéticos (AG). É também apresentado um estudo sobre a influência dos

parâmetros da BT e do AG na qualidade das soluções obtidas.

## 4 HEURÍSTICA PROPOSTA

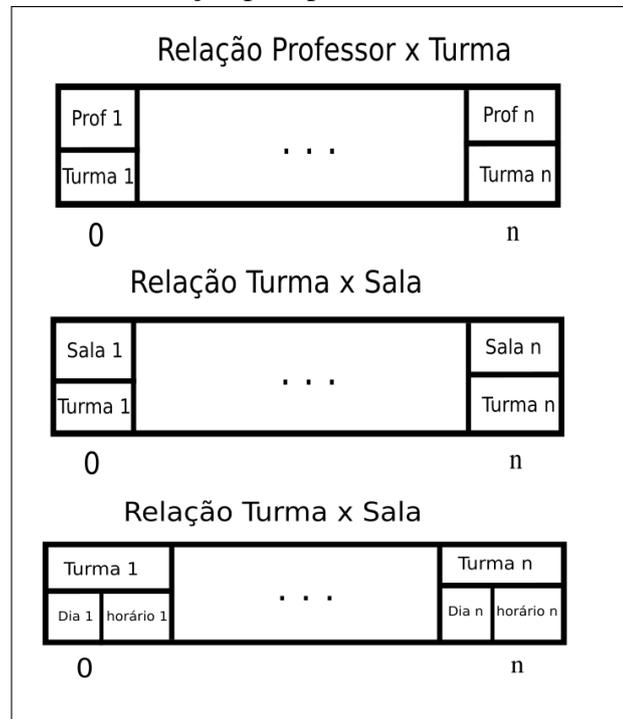
Algumas características particulares dos problemas combinatórios, expostos na Seção 3.1, fazem com que a aplicação de métodos exatos garantam a otimalidade da solução encontrada ao término do processo. Porém, esses métodos podem tornar-se impraticáveis por conta do tempo gasto para se obter uma solução. Algumas propriedades dos métodos heurísticos (Seção 2.6) os tornam uma alternativa poderosa para solucionar problemas dessa natureza.

O presente trabalho faz uso do procedimento heurístico Busca Babu (BT), escolhido por suas aplicações a problemas semelhantes ao tema desta pesquisa, tais como Silveira *et al.* (2018), Souza *et al.* (2002), entre outros. Este capítulo é reservado à apresentação das estratégias utilizadas para a resolução do problema descrito pelo modelo formulado nesta pesquisa, o processo de geração de instâncias e a representação de uma solução válida.

### 4.1 Representação de uma solução

A representação utilizada para o conjunto de horários é feita por uma tabela, em que as linhas correspondem a horários pré-fixados e as colunas aos dias da semana, respeitando a ordem em que os eventos irão acontecer. Uma solução  $x$  é representada por três vetores de tamanho  $n$ : *professor – turma*, *turma – sala* e *sala – slot*, que são, respectivamente, a associação professor-turma, turma-sala e sala-slot (combinação de dia da semana e horário, isto é, uma entrada da tabela). Uma posição no vetor de associação professor-turma representa o arranjo de um professor  $p$  com uma turma  $t$ . Uma posição no vetor de associação turma-sala indica a associação de uma turma  $t$  a uma sala  $s$  e, por fim, no vetor de associação turma-slot são relacionadas as turmas  $t$  com os slots. Um exemplo é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Representação computacional da solução para problema PAS.



Fonte: Próprio autor.

Neste exemplo, é associado ao professor 1 à turma 1, que está alocada na sala 1 no dia 1 no horário 1. Permitindo a manipulação de forma simples das vizinhanças que serão mostradas na seções seguintes.

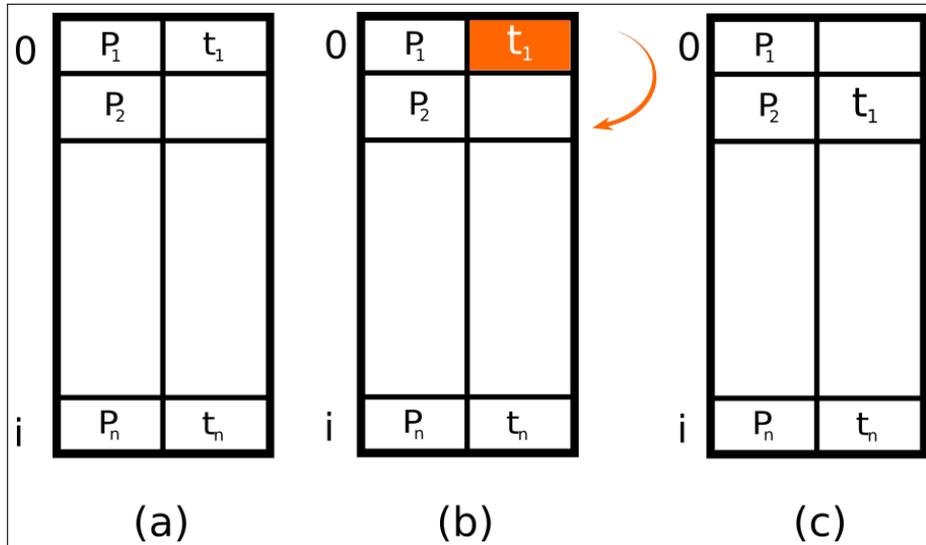
#### 4.2 Estrutura de Vizinhanças e Movimentos

É imprescindível determinar uma estrutura de vizinhança, ou seja, por meio de uma função  $X$  é possível inferir uma solução  $s'$  semelhante a  $s$ , sabendo que  $s$  é uma solução qualquer para o problema do PAS, através de transformações conhecidas por movimentações. Para melhorar a visualização da vizinhança é aplicado uma transposição no vetores de solução  $s$  para  $s^T$  sem perda de estrutura. No presente trabalho são utilizados três movimentações, detalhadas a seguir.

O movimento de troca de turma entre professores, representados na Figura 7, consiste em escolher dois professores  $p_1$  e  $p_2$  (Figura 7 (a)), tendo o  $p_1$  alocado a turma  $t_1$  que não é do grupo de familiaridade do mesmo porém, é do grupo de familiaridade do  $p_2$ . O movimento de troca consiste em desalocar a  $t_1$  do  $p_1$  e realocar para o  $p_2$  (Figura 7 (b)), formando uma nova solução (Figura 7 (c)). Tal movimento não pode gerar uma quebra de restrição na relação

professor em relação as turmas que são familiaridade do mesmo.

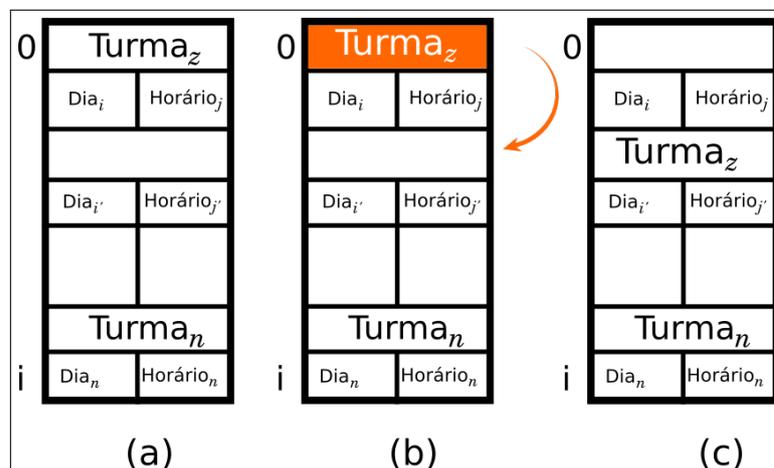
Figura 7 – (a) Representação da escolha de um par Professor-Turma, (b) Ilustra a troca entres os elementos (c) e Representa a solução vizinha encontrada



Fonte: Próprio autor.

O deslocamento ilustrado na Figura 8, representa a aplicação de uma realocação a uma turma  $t_z$  que esteja alocada em um *slot* (dia e horário) e que possua quebra na relação professor-dia (Figura 8 (a)). Esta movimentação não pode gerar sobreposições dia horário entre turmas, como observado na turma  $t_z$  em um *slot* que consiste uma quebra de restrição Figura 8 (b). O movimento irá percorrer a vizinhança até encontrar um *slot* vago para remanejar a  $t_z$  (Figura 8 (c)).

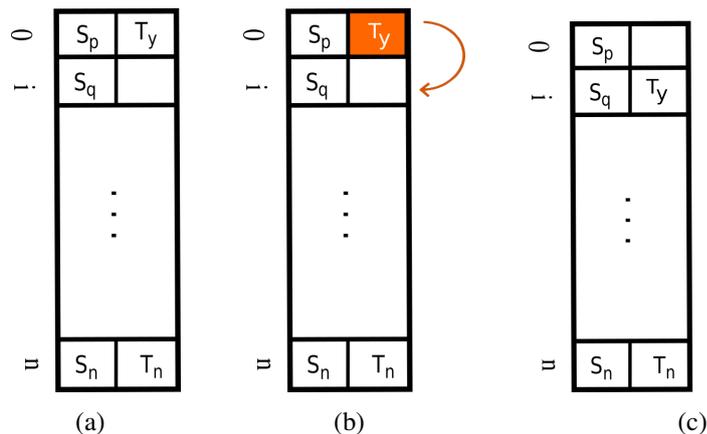
Figura 8 – (a) Representação da escolha de uma Turma (b), Ilustra a Alocação da Turma e (c) Representa a solução vizinha encontrada



Fonte: Próprio autor.

Outro movimento de vizinhança também trata da realocação, contudo a solução realocada não apresenta nenhuma quebra de restrição, logo este procedimento é uma realocação simples, a Figura 9 representa esta ação. Consiste em uma turma  $t_y$  alocada em uma sala  $s_p$  (Figura 9 (a)), ser realocada na sala  $s_q$  (Figura 9 (b)), em que tal movimento leva a uma nova vizinhança (Figura 9 (c)).

Figura 9 – (a) Representação da escolha de uma Turma, (b) Ilustra a realocação da Turma em outra sala e (c) Representa a solução vizinha encontrada



Fonte: Próprio autor.

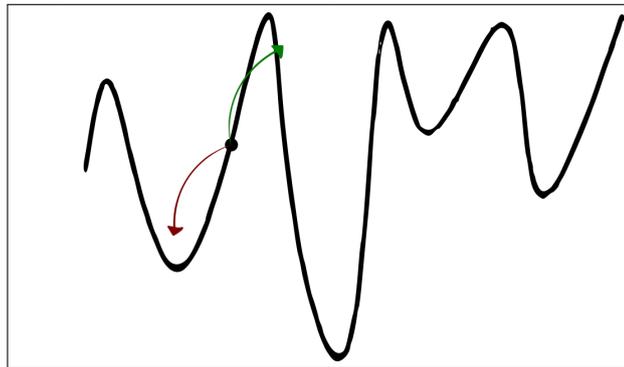
### 4.3 Busca Tabu

Conforme mencionado, a presente pesquisa faz uso de um procedimento heurístico para solucionar o PAS no contexto do campus da UFC-Crateus. O método selecionado é o Busca Tabu, originalmente proposta em Glover (1994) e Hansen (1986). Consiste em um método de busca local para explorar o universo finito de soluções realizando movimentações, objetivando encontrar um melhor vizinho. Essa estratégia adotada realiza a memorização das soluções geradas, permitindo que o procedimento não se “prenda” em um ótimo local (Figura 10). Contudo, a mesma pode acarretar em um algoritmo cíclico, ou seja, poderá retornar uma solução já gerada anteriormente. De maneira a evitar esse ciclo, o algoritmo faz uso de uma lista tabu  $T$  com a finalidade de armazenar possíveis movimentos proibidos (as melhores soluções já visitadas).

Desta forma, o algoritmo Busca Tabu sonda nas suas iterações, um subconjunto  $V$  da vizinhança  $N(s)$  da solução vigente  $s$ . O componente  $s' \in V$  com melhor valor nessa região respeitando a função  $f(\cdot)$  é eleito a nova solução vigente, mesmo que  $s'$  seja pior que  $s$ , isto é, que  $f(s') > f(s)$  considerando um problema de minimização.

A lista tabu por um lado, reduz o risco de ciclagem (uma vez que ela garante o não retorno, por  $|T|$  iterações, a uma solução já visitada anteriormente), por outro lado também pode proibir movimentos para soluções que ainda não foram visitadas (WERRA; HERTZ, 1989 apud SOUZA, 2008). A função de aspiração  $A(f(s))$  tem como finalidade modificar o *status* tabu de determinados movimentos. Note que podemos expressar essa função como  $f(s') < A(f(s))$  que representa a geração de um valor para obter o movimento  $m$  em  $v$ .

Figura 10 – Movimentação Busca Tabu.



Fonte: Próprio autor.

O procedimento possui dois critérios de paradas: o alcance de uma quantidade máxima de iterações sem obter uma melhora na solução corrente, e o valor da melhor solução encontrada em um limite inferior conhecido. O intuito da segunda é evitar execuções desnecessárias do procedimento quando obtido uma solução ótima ou quando a mesma é julgada suficientemente boa para o problema abordado. A Figura 11 apresenta a Busca Tabu, por meio de pseudocódigo, admitindo uma função de minimização. Note que o mesmo contém o  $f_{min}$  representando o valor mínimo conhecido da função  $f$ .

Figura 11 – Algoritmo de Busca Tabu.

<b>Algoritmo:</b> Busca Tabu	
1:	<b>procedimento</b> BT( $f(\cdot)$ , $N(\cdot)$ , $A(\cdot)$ , $ A $ , $F_{min}$ , $ T $ , $BT_{max}$ , $s$ )
2:	$s^* \leftarrow s$ {Melhor Solução obtida até então}
3:	$Iter \leftarrow 0$ {Contador do número de iterações}
4:	$MelhorIter \leftarrow 0$ ; {Iteração mais recente que forneceu $s^*$ }
5:	$T \leftarrow \{\}$ {Lista Tabu}
6:	<b>ENQUANTO</b> ( $f(s) > F_{min}$ <b>E</b> $Iter - MelhorIter < BT_{max}$ ) <b>FAÇA</b>
7:	$Iter \leftarrow Iter + 1$
8:	Seja $s' \leftarrow s + m$ o melhor elemento de $V$ sub. conjunto de $N(s)$ tal o movimento $m$ não tal que o movimento $m$ não seja tabu <b>OU</b> $s'$ atenda a condição de aspiração ( $f(s') < A(f(s))$ );
9:	Atualize a lista tabu $T$
10:	$s \leftarrow s'$
11:	<b>SE</b> $f(s) < f(s^*)$ <b>ENTÃO</b>
12:	$s^* \leftarrow s$
13:	$MelhorIter \leftarrow Iter$
14:	Atualize a função de aspiração $A$
15:	<b>retorne</b> $s$

Fonte: Adaptação de (SOUZA, 2008)

#### 4.4 Geração da Solução Inicial

Uma solução inicial, para a presente pesquisa, é formulada por meio de uma heurística de construção híbrida, formada por um procedimento guloso e um algoritmo do troco genérico. O algoritmo do troco genérico considera ter  $n$  trocos com  $m$  moedas. Aplicado ao contexto do PAS na responsabilidade de estabelecer a relação professor-turma e a construção gulosa de turma-sala e turma-slot. Isso é representado no Figura 12 do Algoritmo .

Figura 12 – Algoritmo do troco Genérico.

<b>Algoritmo :</b> Troco Genérico	
1:	<b>procedimento</b> trocoGenerico(professores, turmas)
2:	// professores Conjunto de Professores, turmas conju de turmas
3:	$s \leftarrow 0$
4:	$x \leftarrow 0$
5:	<b>PARA</b> $p \in professores$ <b>FAÇA</b>
6:	<b>PARA</b> $p > 0$ <b>FAÇA</b>
7:	$x \leftarrow \{t \in turmas \mid t \text{ seja maior } \}$ tal que $p.ch + t \leq p.ch$
8:	$s \leftarrow s \cup p$
9:	<b>fim</b>
10:	<b>fim</b>
11:	<b>retorne</b> $s$
12:	<b>fim</b>

Fonte: Próprio autor.

O algoritmo de Construção Híbrida, união das estratégias do troco e gulosa, é apresentada na Figura 13 do Algoritmo .

Figura 13 – Algoritmo da Construção Híbrida.

```

Algoritmo : Construção Híbrida
1: procedimento construcaoHibrida(turmas, salas, professores, slots)
2: // professores conjunto de Professores, turmas conjunto de turmas
3: // slots conjunto de horário, salas conjunto de salas
4: professores turmas ← ∅
5: turmas salas ← ∅
6: turmas horários ← ∅
7: professores turmas ← trocoGenerico(professores, turmas)
8: turmas salas ← construcaoGulosa(turmas, salas)
9: turmas horários ← construcaoGulosa(turmas, slots)
10: retorne {professores turmas, turmas salas , turmas horários }

```

Fonte: Próprio autor.

#### 4.5 Estrutura Heurística Utilizada

A aplicação do procedimento Busca Tabu ao PAS é justificado visto que seu uso demonstra eficiência para problemas semelhantes, validado em diversos trabalhos, tais como Silveira *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2002). Desta forma, a presente pesquisa realizou adequações na estrutura do procedimentos. O algoritmo de perturbação é bem simples de se compreender, já que apenas realiza uma troca, de maneira aleatória, nas relações professor-dia e professor-turma, e em seguida retorna a solução modificada.

Figura 14 – Algoritmo de Perturbação

```

Algoritmo : Perturbação
1: procedimento perturbacao(solucao)
2: slot_1 ← gerarNumeroAleatorio()
3: slot_2 ← gerarNumeroAleatorio()
4: solucao ← trocar(solucao, slot_1, slot_2)
5: prof_1 ← gerarNumeroAleatorio()
6: prof_2 ← gerarNumeroAleatorio()
7: trocarTurmasProfessores(solucao, prof_1, prof_2)
8: retornar solucao

```

Fonte: Próprio autor.

Na primeira fase, é construída uma solução inicial conforme descrito na Seção 4.4. A lista Tabu é utilizada para guardar as soluções encontradas que não conseguiram sofrer refina-

mento no (*IteraMaxSemMelhora*) iterações na fase encontrar melhor vizinho. O procedimento realiza uma perturbação a fim de passear por outra vizinhança e em seguida realizar novos refinamentos na solução.

Figura 15 – Algoritmo do Busca Tabu Modificado

<p><b>Algoritmo</b> : Busca Tabu Modificado</p> <hr/> <pre> 1: <b>procedimento</b> BTModificado(turmas, salas, professores, slots, BTMax,    IteraMaxSemMelhora, tamLisTabu) 2: // <b>BTMax</b> máximo de iteração total, <b>IteraMaxSemMelhora</b> máximo de    iterações sem melhorias, <b>tamLisTabu</b> tamanho máximo da lista tabu 3: <i>lisTabu</i> ← {} 4: <i>Iter</i> ← 0 5: <b>PARA</b> <i>Iter</i> &lt; <i>max</i> <b>FAÇA</b> 6:   <i>S'</i> ← <i>melhorVizinho</i>(<i>S*</i>) 7:   <b>SE</b>(<math>f(s') &lt; f(s^*)</math>) 8:     <i>s*</i> ← <i>s'</i> 9:   <b>SENÃO</b> 10:    Atualizar <i>lisTabu</i> com <i>s'</i> 11: <b>fim</b> 12: retornar menor(<i>lisTabu</i>) 13: <b>fim</b> </pre>
--

Fonte: Próprio autor.

A seguir, para melhor compreensão do problema no contexto da UFC-Crateús, será apresentado o modelo computacional estabelecido.

## 5 MODELO MATEMÁTICO

Um modelo matemático não-linear para o problema PAS da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús é apresentado no presente capítulo. A concepção do modelo é dada por um conjunto recursos: professores, turmas, dias e horários da semana, que devem ser alocados a um conjunto de salas. O propósito é realizar todas as alocações satisfazendo alguns critérios que podem ser observados nas subseções que seguem.

As seções 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam, respectivamente, as restrições, entradas e variáveis utilizadas no modelo. Detalhes da modelagem não linear e a sua linearização são apresentados nas seções 5.4 e 5.5.

### 5.1 Restrições

Operando nos turnos matutino, vespertino e noturno, o Campus da UFC em Crateús oferta aulas de segunda a sexta-feira recebendo anualmente, em média, 250 novos estudantes distribuídos em diversas turmas e horários. A confecção da alocação de aulas e professores é realizada duas vezes ao ano (1 o e 2 o semestre), por meio do software FET<sup>1</sup>. Contudo, esse procedimento usualmente necessita de intervenções manuais para que se obtenha uma solução favorável ao cenário esperado, dadas as características dos perfis docentes e as configurações de aulas ministradas.

Assim, algumas características do Campus foram pontuadas. Considera-se como uma solução factível aquela em que todas as turmas são alocadas contemplando suas cargas horárias teórica e prática, de forma a respeitar as horas de trabalho dos professores. Além dessas, são também consideradas restrições fortes: toda turma deve estar associada a exatamente um professor; duas turmas não podem ter conflitos em sua alocação, isto é, o uso das salas deve ser distinto caso sejam alocadas na mesma combinação de dia e horário.

As restrições a seguir são consideradas fracas. Seu cumprimento é preferível, mas não é mandatório.

- A Turmas com carga horária teórica e prática devem possuir a alocação das atividades teóricas em dias antecedentes aos dias das atividades práticas;
- B Os professores devem ser alocados apenas em seus dias preferenciais, e essa informação é tomada como entrada para o problema;

<sup>1</sup> Disponível em: <https://fet.br.uptodown.com/windows>

C As alocações professor-turma devem respeitar o perfil de formação de cada docente, e tais perfis são também considerados entrada para o problema.

## 5.2 Entradas

O modelo possui os seguintes parâmetros de entradas.

$P$ , o conjunto de professores;

$T$ , o conjunto de turmas;

$T_p \subseteq T$ , que representa o subconjunto, para cada  $p \in P$ , das turmas que compõem o perfil acadêmico do professor  $p$ ;

$D$ , o conjunto de dias da semana;

$D_p \subseteq D$ , que representa, para cada  $p \in P$ , o subconjunto dos dias preferíveis para o professor  $p$  lecionar;

$D' \subseteq D$ , que contém dias da semana com incidência de feriados do semestre;

$H$ , o conjunto de *slots* de horários;

$S$ , o conjunto de salas;

$ch_t^T \in \mathbb{Z}_+$ , que representa a carga horária teórica da turma  $t \in T$ ;

$ch_t^P \in \mathbb{Z}_+$ , que representa a carga horária prática da turma  $t \in T$ ;

$ch_p \in \mathbb{Z}_+$ , que representa a carga horária do professor  $p \in P$ .

Por simplicidade, é admitido que os conjuntos  $P, T, D, H$ , e  $S$  são representados pelos devidos segmentos iniciais de  $\mathbb{Z}_+$ .

A seguir, são descritas as variáveis utilizadas.

## 5.3 Variáveis

O modelo desenvolvido possui as seguintes variáveis.

$z_{pi}$ , representa a associação entre um professor e um dia da semana;

$x_{pt}$ , representa a associação entre um professor e uma turma;

$y_{tijk}^P$ , que representa a associação de uma turma  $t \in T$  com carga horária prática a um  $i \in D, j \in H$  e  $k \in S$ ;

$y_{tijk}^T$ , que representa a associação de uma turma  $t \in T$  com carga horária teórica a um  $i \in D, j \in H$  e  $k \in S$ ;

$y_{tijk}$ , que representa a carga horária total da turma sem distinguir carga horária teórica da

prática;

$a_p$ , representa a penalidade a um professor quando é associado a uma turma fora do subconjunto  $T_p$  das turmas que compõem o perfil acadêmico do mesmo;

$b_p$ , que representa a penalidade a um professor quando é associado a um dia fora do seu subconjunto  $D_p$  de dias preferíveis para lecionar.

As variáveis  $z_{pi}, y_{tijk}^P, y_{tijk}^T$  são definidas como binárias. Da mesma forma, as variáveis  $y_{tijk}, a_p$  e  $b_p$  são tomadas como inteiras não-negativas.

#### **5.4 Restrições e Função Objetivo**

Agora, são descritas as restrições e a Função Objetiva (FO). A seguir, é apresentado a descrição completa do modelo.

$$\min \quad z(\alpha, \beta) = \alpha \cdot \sum_{p \in P} a_p + \beta \cdot \sum_{p \in P} b_p \quad (5.1)$$

$$\sum_{p \in P} x_{pt} = 1, \forall t \in T \quad (5.2)$$

$$\sum_{T \setminus T_p} x_{pt} \leq a_p, \forall p \in P \quad (5.3)$$

$$\sum_{t \in T} (ch_t^T + ch_t^P) x_{pt} = ch_p, \forall p \in P \quad (5.4)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in H} \sum_{k \in S} y_{ijk}^T = \frac{ch_t^T}{2}, \forall t \in T \quad (5.5)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in H} \sum_{k \in S} y_{ijk}^P = \frac{ch_t^P}{2}, \forall t \in T \quad (5.6)$$

$$\sum_{t \in T} y_{ijk} \leq 1, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.7)$$

$$y_{ijk} = y_{ijk}^T + y_{ijk}^P, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.8)$$

$$x_{pt} \cdot y_{ijk} \leq z_{pi}, \forall p \in P, \forall y \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.9)$$

$$\sum_{i \in D \setminus D_p} z_{pi} \leq b_p, \forall p \in P \quad (5.10)$$

$$y_{ijk}^P \leq 1 - y_{i'j'k'}^T, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall i' \in D' : i < i', \forall j, j' \in H, \forall k, k' \in S. \quad (5.11)$$

$$x_{pt} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (5.12)$$

$$y_{ijk}^P \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.13)$$

$$y_{ijk}^T \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S. \quad (5.14)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S. \quad (5.15)$$

$$z_{pi} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, \forall i \in D \quad (5.16)$$

$$a_p \in \mathbb{B}^{|P|} \quad (5.17)$$

$$b_p \in \mathbb{B}^{|P|} \quad (5.18)$$

$$\alpha \in \mathbb{Z}_+^* \quad (5.19)$$

$$\beta \in \mathbb{Z}_+^* \quad (5.20)$$

Primeiramente, é tratada da FO. Essa consiste da penalização de dois parâmetros,  $\alpha$  e  $\beta$ , que correspondem, respectivamente, à atribuição de um professor a uma turma fora de seu perfil, e à associação entre um professor  $p \in P$  e um dia fora de  $D_p$ . A restrição (5.2) assegura que toda turma tenha apenas um professor associado a mesma.

Por fim, as restrições são descritas. A restrição (5.3) descreve quando um professor é vinculado a uma turma que não pertence ao grupo de turmas constantes em seu perfil. A restrição (5.4) garante que todo professor cumpra sua carga horária de trabalho. As equações (5.5) e (5.6) endossam que toda turma tem que cumprir sua carga horária prática e teórica respectivamente. (5.7) certifica que para qualquer dia, *slot* de horário e sala será associado apenas a uma turma. A equação (5.8) representa a associação entre a  $y_{tijk}^T$  e  $y_{tijk}^P$  para que possa ser valorado  $y_{tijk}$ . A restrição (5.9) garante a vinculação de um professor a uma turma com mesmo dia, *slot* de horário e sala. A restrição (5.10) descreve quando um professor é associado a um dia que não está compreendido dentro do seu conjunto de dias preferenciais para aulas. A restrição (5.11) assegura que uma turma teórica venha primeiro que uma turma prática. Por fim, as equações (5.12), (5.13), (5.14) e (5.15) são, respectivamente, restrições de integralidade.

Observa-se que, no modelo proposto, a restrição (5.9) não é linear. Para fazer-se uso do pacote de otimização pertencentes ao ambiente de testes, seu processo de linearização é apresentado na subseção que segue.

## 5.5 Linearização

Existem diversas abordagens para linearizar as restrições e FO levando em consideração a natureza das variáveis que as compõem Williams (2013). O produto de duas variáveis binárias na restrição (5.9) pode ser substituído por uma nova variável  $w$ , sujeita às seguintes restrições:

$$w_{ptijk} \leq x_{pt} \tag{5.21}$$

$$w_{ptijk} \leq y_{tijk} \tag{5.22}$$

$$w_{ptijk} \geq x_{pt} + y_{tijk} - 1 \tag{5.23}$$

$$\tag{5.24}$$

É notável observar que as restrições de (5.21) até (5.23) inferem que  $w_{ptijk} = (x_{pt} \cdot y_{tijk})$ . Logo, realizando a substituição da (5.9) para a nova restrição, tem-se:

$$w_{ptijk} \leq z_{pi} \quad \forall p \in P, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \tag{5.25}$$

Após aplicação da linearização, o modelo segue finalizado.

$$\min \quad z(\alpha, \beta) = \alpha \cdot \sum_{p \in P} a_p + \beta \cdot \sum_{p \in P} b_p \quad (5.26)$$

$$\sum_{p \in P} x_{pt} = 1, \forall t \in T \quad (5.27)$$

$$\sum_{T \setminus T_p} x_{pt} \leq a_p, \forall p \in P \quad (5.28)$$

$$\sum_{t \in T} (ch_t^T + ch_t^P) x_{pt} = ch_p, \forall p \in P \quad (5.29)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in H} \sum_{k \in S} y_{ijk}^T = \frac{ch_t^T}{2}, \forall t \in T \quad (5.30)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in H} \sum_{k \in S} y_{ijk}^P = \frac{ch_t^P}{2}, \forall t \in T \quad (5.31)$$

$$\sum_{t \in T} y_{ijk} \leq 1, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.32)$$

$$y_{ijk} = y_{ijk}^T + y_{ijk}^P, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.33)$$

$$w_{ptijk} \leq z_{pi} \quad \forall p \in P, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.34)$$

$$\sum_{i \in D \setminus D_p} z_{pi} \leq b_p, \forall p \in P \quad (5.35)$$

$$y_{ijk}^P \leq 1 - y_{i'j'k'}^T, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall i' \in D' : i < i', \forall j, j' \in H, \forall k, k' \in S. \quad (5.36)$$

$$x_{pt} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (5.37)$$

$$y_{ijk}^P \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.38)$$

$$y_{ijk}^T \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S. \quad (5.39)$$

$$y_{ijk_s} \in \{0, 1\}, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S. \quad (5.40)$$

$$z_{pi} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, \forall i \in D \quad (5.41)$$

$$a_p \in \mathbb{B}^{|P|} \quad (5.42)$$

$$b_p \in \mathbb{B}^{|P|} \quad (5.43)$$

$$\alpha \in \mathbb{Z}_+^* \quad (5.44)$$

$$\beta \in \mathbb{Z}_+^* \quad (5.45)$$

$$w_{ptijk} \leq x_{pt} \quad (5.46)$$

$$w_{ptijk} \leq y_{ijk} \quad (5.47)$$

$$w_{ptijk} \geq x_{pt} + y_{ijk} - 1 \quad (5.48)$$

$$w_{ptijk} \in \{0, 1\}, p \in P, \forall t \in T, \forall i \in D, \forall j \in H, \forall k \in S \quad (5.49)$$

Conhecido a estrutura da heurística proposta e a modelagem computacional aplicada ao problema tratado, próximo capítulo apresentará os experimentos computacionais realizados.

## 6 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Neste Capítulo, é apresentado o ambiente computacional em que foram realizados os testes do modelo e procedimento heurístico adotado sobre dados reais e simulados. O processo de simulação ocorreu por meio de um gerador de instâncias próprio desenvolvido exclusivamente para o contexto do problema. Também serão apresentados no presente capítulo os resultados dos métodos exatos, heurísticos e a análise da sensibilidade dos parâmetros.

### 6.1 Ambiente de Testes

A implementação do modelo foi realizada utilizando a linguagem orientada a objeto C++ versão 11, com o *concert* da ferramenta comercial *IBM ILOG CPLEX 12.6.0*. A heurística foi desenvolvida por meio da linguagem orientada a objeto C++ versão 11. Os testes computacionais foram realizados em um computador com processador *Pentium CPU G4560 @ 3.5 GHz* com 16 GB de RAM, sob o sistema operacional *Linux Mint 19 Tara* de 64 bits.

### 6.2 Gerador de Instâncias

Por tratar-se de um caso real do Campus da UFC em Crateús, foi verificado a necessidade da obtenção de mais instâncias. Uma vez que dada a operacionalização do campus até a presente data apenas sete configurações para alocações foram pontuadas, referente aos períodos letivos de 2016.1 a 2019.1. Tais instâncias são denominadas  $T_{2016.1}$  a  $T_{2019.1}$ .

Desta forma, fez-se necessário a criação de um gerador de instâncias baseado nos parâmetros extraídos das instâncias reais, tais como: quantidade de salas, *slot* de horários, perfil docente, carga horária de aula dos professores, entre outros. De modo a manter real semelhança ao cenário institucional.

As instâncias foram geradas distribuídas por 7 classes baseadas na estrutura atual do curso de Ciência da Computação, ofertado na unidade acadêmica de Crateús. Tais características resultaram nos seguintes parâmetros: 10 salas, 4 *slots* de horários e a porcentagem de distribuição da quantidade de professor com determinado perfil, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Porcentagem utilizada por perfil de professor em cada Classe de instância.

Classe \ Perfil	Perfil						
	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
1	15%	20%	5%	5%	15%	30%	10%
2	0%	0%	0%	10%	30%	30%	30%
3	30%	30%	30%	10%	0%	0%	0%
4	10%	10%	0%	20%	20%	30%	10%
5	0%	0%	30%	30%	40%	0%	0%
6	0%	0%	20%	20%	20%	20%	20%
7	0%	0%	0%	20%	20%	30%	0%

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 1, apresenta os valores das porcentagens de professores que possuem determinada Carga Horária (CH), definindo assim o perfil de cada docente. Na classe de instância 1 foram utilizados um quantitativo de professores aleatório para cada perfil, contudo para as demais classes o número de docentes teve distribuição, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de professores por perfil de Carga Horária em Sala de Aula

Classe \ Perfil	Perfil						
	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
2	10	15	20	25	30	35	40
3	10	13	16	19	21	24	27
4	10	15	20	25	30	35	40
5	30	40	50	60	70	80	90
6	30	40	50	60	70	80	90
7	30	40	50	60	70	80	90

Fonte: Próprio autor.

Para cada classe pertencente a Tabela 2 foi estabelecido um conjunto de instâncias conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de instâncias por classes.

Classe	Instâncias
1	$T_1$ a $T_{30}$
2	$T_{31}$ a $T_{60}$
3	$T_{61}$ a $T_{90}$
4	$T_{91}$ a $T_{127}$
5	$T_{128}$ a $T_{149}$
6	$T_{150}$ a $T_{171}$
7	$T_{172}$ a $T_{190}$

Fonte: Próprio autor.

Os experimentos computacionais foram realizados por meio de duas estratégias. A primeira fez uso do algoritmo Branch and Bound B&B e a segunda, conforme proposta, uso do procedimento heurístico Busca Tabu.

### 6.3 Resultados do Método Exato

Testes computacionais foram aplicados em execução única com o algoritmo B&B para validação do modelo computacional e análise do comportamento das instâncias reais ( $T_{2016.1}$  a  $T_{2019.1}$ ) e parte das instâncias geradas pertencentes a Classes 1 ( $T_1$  a  $T_{15}$ ). A Tabela 4 apresenta os resultados das instâncias reais e uma amostra das instâncias da Classe 1.

As instâncias são identificadas por um identificador T. As colunas TP, TT, QPT e QPD representam, respectivamente, o número total de professores, o número total de turmas, a quantidade de quebras de restrições das relações professor-turma e professor-dias.

Tabela 4 – Dados dos testes realizados nos conjuntos de instâncias reais e geradas.

Instância	TP	TT	QPT	QPD	FO	Tempo (seg)	GAP	Solução
$T_{2016.1}$	12	26	0	0	0	0.75	0.00%	Viável
$T_{2016.2}$	11	20	0	0	0	0.76	0.00%	Viável
$T_{2017.1}$	16	24	0	0	0	1.45	0.00%	Viável
$T_{2017.2}$	15	35	0	0	0	2.67	0.00%	Viável
$T_{2018.1}$	19	43	0	0	0	4.89	0.00%	Viável
$T_{2018.2}$	20	41	0	0	0	4.97	0.00%	Viável
$T_{2019.1}$	17	35	0	2	2	54.48	0.00%	Viável
$T_1$	8	13	0	0	0	0.02	0.00%	Viável
$T_2$	8	13	0	0	0	0.53	0.00%	Viável
$T_3$	11	18	0	0	0	1.73	0.00%	Viável
$T_4$	12	19	0	0	0	1.33	0.00%	Viável
$T_5$	13	21	0	0	0	1.69	1.69%	Viável
$T_6$	20	31	0	0	0	8.27	0.00%	Viável
$T_7$	20	31	0	0	0	8.56	0.00%	Viável
$T_8$	21	33	0	0	0	17.07	0.00%	Viável
$T_9$	22	34	0	1	1	700.14	0.00%	Viável
$T_{10}$	25	39	0	2	2	2039.69	50.00%	Viável
$T_{11}$	28	44	0	3	3	50619.08	33.33%	Viável
$T_{12}$	28	44	0	4	4	44753.65	26.12%	Viável
$T_{13}$	31	49	0	2	2	9017.61	93.75%	Viável
$T_{14}$	32	50	0	4	4	78181.69	25.56%	Viável
$T_{15}$	33	52	0	4	4	230043.61	59.72%	Viável

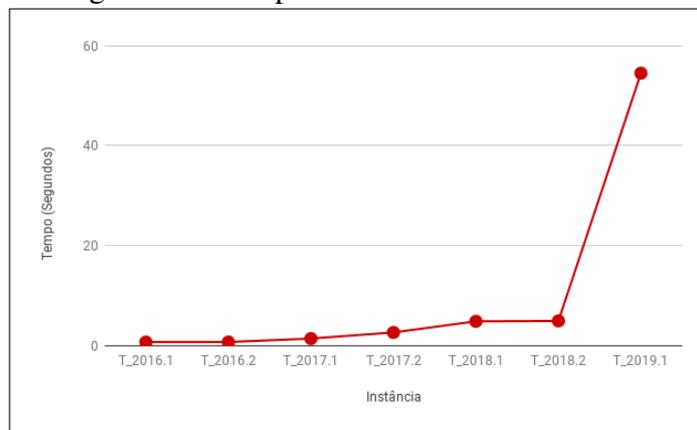
Fonte: Próprio autor.

Os resultados das instâncias reais presentes na Tabela 4 demonstram um aumento

gradativo nos parâmetros TP e TT que acompanham um aumento do tempo computacional obtido. Porém, apenas a instância  $T_{2019.1}$  obteve restrições quebradas na relação professor-dias, resultando em um valor positivo para a FO.

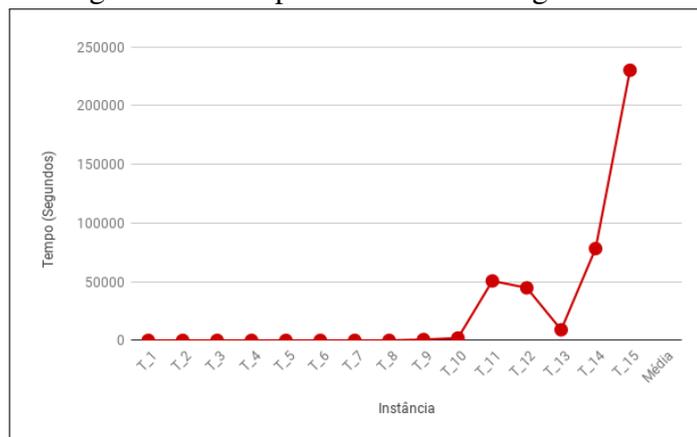
A Figura 16 representa a diferença entre o tempo computacional do método exato frente ao procedimento heurístico, é observado que para as instâncias reais, cujo o conjunto de elementos é menor, o consumo de tempo computacional para o procedimento exato é satisfatório. Contudo, analisando a Figura 17, que representa o comparativo com as instâncias geradas da classe 1, cujo o conjunto de elementos é maior, o consumo de tempo computacional do procedimento exato apresenta elevado comportamento.

Figura 16 – Tempo Exato instâncias reais.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17 – Tempo Exato instâncias geradas.



Fonte: Próprio autor.

Desta forma, a presente pesquisa valida a qualidade da geração das instâncias geradas, do modelo computacional proposto e justifica o uso dos procedimentos heurísticos como meio de reduzir o tempo computacional na garantia de soluções com boas qualidades.

## 6.4 Resultados da Heurística

Testes computacionais foram realizados em execução única com o procedimento Busca Tabu, utilizando como parâmetros: o número máximo de iterações (*BTmax*), tamanho da lista tabu (*tamLisTabu*) e quantidade de iterações sem melhoria (*IteraMaxSemMelhora*), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros Adotados para os Cenários de Testes do Procedimento de Busca Tabu

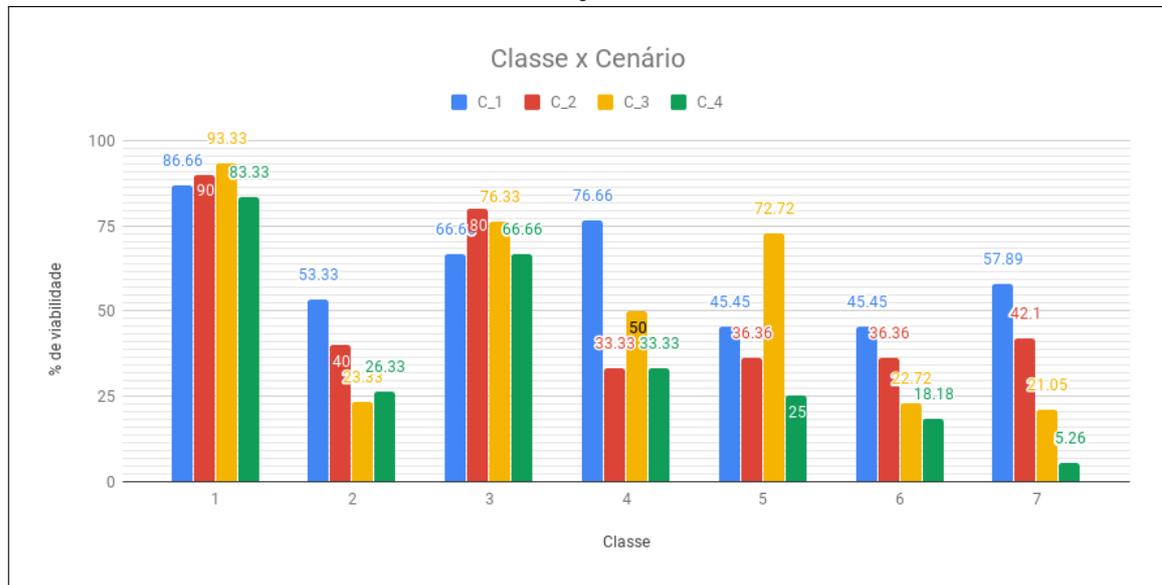
Cenário de Teste	Parâmetros		
	<i>BTmax</i>	<i>tamLisTabu</i>	<i>IteraMaxSemMelhora</i>
C_1	100	100	100
C_2	200	200	200
C_3	300	300	300
C_4	400	400	400

Fonte: Próprio autor.

Foram realizados para as 187 instâncias, aplicados aos 4 cenários apresentados anteriormente, 784 casos de testes. A primeira análise parte da verificação da qualidade de soluções produzidas pelo procedimento heurístico. É considerado uma solução viável, aquela em que não há violação das restrições *hard*, conforme estabelecido na Seção 5.1. Desta forma, a Figura 18 apresenta a taxa de qualidade na obtenção de boas soluções.

Para uma análise detalhada, são apresentados nos Apêndices A a G os dados e parâmetros bruto resultantes dos testes computacionais. As colunas apresentadas: TCI, VFOI, QPTI, QPDI, TF, VFOF, QPTE, QPDF, QVMFO, QT, QP, QR, IMS, QPQPT, QPQPD, Solução; correspondem respectivamente: tempo da construção inicial (segundos), valor da Função Objetivo inicial (FO), quantidade de quebras das relações professor-turma inicial, quantidade de quebras das relações professor-dia inicial, tempo da solução final (segundos), quantidade de quebras das relações professor-turma final, quantidade de quebras das relações professor-dia final, quantas vezes teve melhora na FO, o número total de turmas, o número total de professores, total de refinamento, iteração da melhor solução, quantas possíveis quebras nas restrições das relações professor-turma, quantas possíveis quebras nas restrições das relações professor-dia e solução.

Figura 18 – Taxa de Qualidade na Obtenção de Boas Soluções



Fonte: Próprio autor.

Os dados anteriores revelam a qualidade do procedimento adotado frente as instâncias e aos parâmetros estabelecidos, contudo não é a única métrica conveniente para expressar a qualidade das soluções geradas. Empregar a análise da composição da FO separadamente, analisando as relações professor-turma e professor-dia, se faz necessário para ter-se uma melhor visão da qualidade das soluções encontradas. Nas Tabelas 34 até 40, presente no Apêndice H esta expostas a porcentagem de erro, que a heurística obteve das relações professor-turma.

Verifica-se que para os 748 casos de testes analisados houve quebra em 363 casos das relações professor-turma, contudo a variação da porcentagem obtida é de 0% a 21,28%, com taxa média da porcentagem de erros em 0,781%. Constata-se então que o procedimento heurístico apresenta soluções viáveis com insignificante quebra das relações professor-turma.

De forma semelhante, continuando a análise da composição da FO, foi avaliado a porcentagem de erro, baseado nas quantidades possíveis de quebras de restrições, em que o procedimento proposto obteve das relações professor-dias. Nas Tabelas 41 até 47 são apresentados os dados individuais, presente no Apêndice I.

Observa-se que para os 784 casos de testes analisados houve quebra em 720 casos das relações professor-dias, contudo a variação da porcentagem obtida é de 0,33% a 28,57%, com taxa média da porcentagem de erros em 5,82%. Constata-se então que o procedimento heurístico apresenta soluções viáveis com insignificante quebra das relações professor-dias. Os resultados demonstram que esta restrição impacta o comportamento da Função Objetivo.

## 7 CONCLUSÃO

O Problema da Alocação de Salas possui na literatura algumas abordagens relevantes, tais como: Coelho (2006) que investiga um caso de estudo do Instituto de Ciência Matemática e de Computação (ICMC); Nascimento *et al.* (2005) que realizou uma modelagem matemática com classificação de requisitos essenciais e não-essenciais objetivando avaliar seus atendimentos; e Poltosi (2007) que também apresenta uma modelagem matemática com uma Função Objetivo robusta composta por sete funções ponderadas por pesos individuais com o intuito de medir o impacto de cada função na obtenção das soluções factíveis.

Apos verificação das abordagens existentes, a presente pesquisa teve por objetivo desenvolver e empregar uma modelagem matemática e um procedimento heurístico a fim de otimizar a tarefa de alocação de aula da Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús. Um modelo computacional foi desenvolvido, validado por meio do algoritmo *Branch and Bound* (B&B) e experimentos revelaram crescimento do tempo computacional gasto para resolução de instâncias maiores, justificando a abordagem heurística proposta.

Para melhor validar a metodologia empregada, um gerador de instâncias foi desenvolvido, mantendo correlação ao padrão estabelecido nas instâncias reais. Com 4 cenários de testes o procedimento heurístico Busca Tabu foi aplicado a 187 instâncias, totalizando 748 casos de testes, para os resultados obtidos duas análises foram empregadas: verificação da qualidade de soluções produzidas e análise da composição da Função Objetivo, ou seja das restrições *hard* aplicadas ao modelo.

Observando os dados coletados, a taxa de qualidade demonstra o encontro de soluções viáveis para o problema, tendo porcentagens elevadas de soluções factíveis encontradas para os 4 cenários de testes. A análise da composição da Função Objetivo, observou quebra em 363 das relações professor-turma com taxa média da porcentagem de erro em 0,781% e quebra em 720 casos das relações professor-dias, com taxa média da porcentagem de erro de 5,82%, revelando que o algoritmo se mostra promissor na geração de soluções com baixa porcentagem de erro.

Como trabalhos futuros, observa-se a necessidade de novas métricas de qualidade para validação das soluções encontradas; Aplicar a técnica de decomposição em linhas ou colunas no modelo matemático afim de reduzi-lo; E uso de outras técnicas computacionais para a resolução do problema formulado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R. H. J. **Metaheurísticas Aplicadas ao Problema de Horário Escolar**. Tese (Doutorado) — CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, 2010.
- ANDRIOLA, W. B.; ANDRIOLA, C. G.; MOURA, C. P. Opiniões de docentes e de coordenadores acerca do fenômeno da evasão discente dos cursos de graduação da universidade federal do ceará (ufc). **Ensaio: aval. pol. públ. Educ**, SciELO Brasil, v. 14, n. 52, 2006.
- BECCENERI, J. C. **Meta-heurísticas e otimização combinatória: Aplicações em problemas ambientais**. INPE, **Sao José dos Campos**, 2008.
- BLUM, C.; ROLI, A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM computing surveys (CSUR)**, ACM, v. 35, n. 3, p. 268–308, 2003.
- CARTER, M. W.; TOVEY, C. A. When is the classroom assignment problem hard? **Operations Research**, INFORMS, v. 40, n. 1-supplement-1, p. S28–S39, 1992.
- CIRINO, R. B. Z. **Abordagens de solução para o problema de alocação de aulas a salas**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2016.
- COELHO, A. Uma abordagem via algoritmos meméticos para a solução do problema de horário escolar. **CEFET-MG, Belo Horizonte**, 2006.
- ERNST, A. T.; JIANG, H.; KRISHNAMOORTHY, M.; SIER, D. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 153, n. 1, p. 3–27, 2004.
- EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. On the complexity of time table and multi-commodity flow problems. In: IEEE. **Foundations of Computer Science, 1975., 16th Annual Symposium on**. [S.l.], 1975. p. 184–193.
- FERREIRA, A. B. d. H. Novo dicionário aurélio da língua portuguesa. In: **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. [S.l.: s.n.], 2004.
- FILHO, R. L. L. S.; MOTEJUNAS, P. R.; HIPÓLITO, O.; LOBO, M. B. C. M. A evasão no ensino superior brasileiro. **Cadernos de pesquisa**, SciELO Brasil, v. 37, n. 132, p. 641–659, 2007.
- FRANCO, A. de P. Ensino superior no brasil: cenário, avanços e contradições. **Jornal de políticas educacionais**, v. 2, n. 4, 2008.
- GAIOSO, N. d. L. O fenômeno da evasão escolar na educação superior no brasil. **Brasília, DF: Universidade Católica de Brasília**, 2005.
- GAMARRA, C.; GUERRERO, J. M. Computational optimization techniques applied to microgrids planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 48, p. 413–424, 2015.
- GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to ai. **Comput. and**, p. 553–549, 1994.

- HANSEN, P. The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming. In: **Congress on numerical methods in combinatorial optimization, Capri, Italy**. [S.l.: s.n.], 1986. p. 70–145.
- KALYANMOY, D. *et al.* **Multi objective optimization using evolutionary algorithms**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2001.
- LOBO, M. B. d. C. M. Panorama da evasão no ensino superior brasileiro: aspectos gerais das causas e soluções. **Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Cadernos**, n. 25, 2012.
- MARTINS, C. B. O ensino superior brasileiro nos anos 90. **São Paulo em perspectiva**, SciELO Brasil, v. 14, n. 1, p. 41–60, 2000.
- NASCIMENTO, A. S.; SAMPAIO, R. M.; ALVARENGA, G. B. *et al.* Uma aplicação de simulated annealing para o problema de alocação de salas. **INFOCOMP Journal of Computer Science**, v. 4, n. 3, p. 59–66, 2005.
- OSMAN, I. H.; LAPORTE, G. **Metaheuristics: A bibliography**. [S.l.]: Springer, 1996.
- POLTOSI, M. R. Elaboração de escalas de trabalho de técnicos de enfermagem com busca tabu e algoritmos genéticos. Universidade do Vale do Rio do Sinos, 2007.
- SILVEIRA, J. A. d. S. *et al.* Uso de abordagem heurística para o problema do quadro de horários e alocação de salas de aula. Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- SOUZA, M. J. F. **Programação de horários em escolas: uma aproximação por metaheurísticas. 2000**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- SOUZA, M. J. F. Inteligência computacional para otimização. **Notas de aula, Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.pdf>**, 2008.
- SOUZA, M. J. F.; MARTINS, A. X.; ARAÚJO, C. R. d. Experiências com simulated annealing e busca tabu na resolução do problema de alocação de salas. 2002.
- WERRA, D. de; HERTZ, A. Tabu search techniques. **Operations-Research-Spektrum**, Springer, v. 11, n. 3, p. 131–141, 1989.
- WILLIAMS, H. P. **Model building in mathematical programming**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

**APÊNDICE A - RESULTADOS DA CLASSE 1**



Tabela 6 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQP	Solução
$T_1$	0.000128	10	0	10	0.264108	10	0	10	0	13	8	0	0	35	35	Viável
$T_2$	0.000091	5	0	5	0.222208	5	0	5	0	13	8	0	0	35	35	Viável
$T_3$	0.000092	18	11	7	0.273827	5	1	4	9	18	11	1	42	47	47	Inviável
$T_4$	0.000103	17	12	5	0.282474	5	0	5	11	19	12	11	10	49	49	Viável
$T_5$	0.000100	20	14	6	0.301964	3	0	3	10	21	13	10	9	55	55	Viável
$T_6$	0.000150	33	23	10	0.526269	9	0	9	17	31	20	17	16	83	83	Viável
$T_7$	0.000159	31	23	8	0.477146	8	0	8	16	31	20	16	15	83	83	Viável
$T_8$	0.000182	32	28	4	0.545959	5	0	5	17	33	21	17	16	89	89	Viável
$T_9$	0.000174	39	31	8	0.547021	7	1	6	21	34	22	3	57	91	91	Inviável
$T_{10}$	0.000189	39	35	4	0.632755	3	0	3	22	39	25	22	21	103	103	Viável
$T_{11}$	0.000180	47	42	5	0.614396	5	0	5	27	44	28	27	26	118	118	Viável
$T_{12}$	0.000208	48	42	6	0.662595	6	0	6	27	44	28	27	26	118	118	Viável
$T_{13}$	0.000208	53	45	8	0.684922	8	0	8	30	49	31	30	29	130	130	Viável
$T_{14}$	0.000255	58	48	10	0.817994	11	0	11	29	50	32	29	28	132	132	Viável
$T_{15}$	0.000231	51	46	5	0.804522	2	0	2	31	52	33	31	30	138	138	Viável
$T_{16}$	0.000332	71	59	12	0.935724	10	0	10	39	62	40	39	38	166	166	Viável
$T_{17}$	0.000309	70	59	11	0.974811	8	1	7	40	62	40	3	46	166	166	Inviável
$T_{18}$	0.000319	71	58	13	0.946447	10	0	10	39	64	41	39	38	172	172	Viável
$T_{19}$	0.000347	69	60	9	1.057285	12	0	12	37	65	42	37	36	174	174	Viável
$T_{20}$	0.000400	82	68	14	1.102693	9	0	9	43	70	45	43	42	186	186	Viável
$T_{21}$	0.000478	83	70	13	1.189978	19	2	17	43	75	48	43	42	201	201	Inviável
$T_{22}$	0.000497	82	70	12	1.207699	13	0	13	45	75	48	45	44	201	201	Viável
$T_{23}$	0.000488	86	74	12	1.267849	12	0	12	48	80	51	48	47	213	213	Viável
$T_{24}$	0.000513	92	77	15	1.227067	13	0	13	51	81	52	51	50	215	215	Viável
$T_{25}$	0.000462	92	77	15	1.222978	15	0	15	50	83	53	50	49	221	221	Viável
$T_{26}$	0.000640	103	91	12	1.419850	14	0	14	56	93	60	56	55	249	249	Viável
$T_{27}$	0.000522	105	91	14	1.226058	10	0	10	58	93	60	58	57	249	249	Viável
$T_{28}$	0.000684	111	93	18	1.367486	22	0	22	59	95	61	59	58	255	255	Viável
$T_{29}$	0.000598	108	93	15	1.338803	15	0	15	59	96	62	59	58	257	257	Viável <sup>g</sup>
$T_{30}$	0.044280	155	96	59	2.625243	56	0	56	56	101	65	56	55	269	269	Viável

Tabela 7 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQP	Solução
T <sub>1</sub>	0.000121	9	0	9	4.200023	9	0	9	0	13	8	0	0	35	35	Viável
T <sub>2</sub>	0.000065	2	0	2	2.905007	2	0	2	0	13	8	0	0	35	35	Viável
T <sub>3</sub>	0.000085	15	11	4	3.966531	3	0	3	8	18	11	8	7	47	47	Viável
T <sub>4</sub>	0.000094	15	12	3	4.471900	2	0	2	11	19	12	11	10	49	49	Viável
T <sub>5</sub>	0.000110	18	14	4	5.437627	6	0	6	8	21	13	8	7	55	55	Viável
T <sub>6</sub>	0.000154	31	23	8	8.599698	7	0	7	17	31	20	17	16	83	83	Viável
T <sub>7</sub>	0.000137	30	23	7	7.923219	7	0	7	17	31	20	17	16	83	83	Viável
T <sub>8</sub>	0.000175	37	28	9	9.396178	9	0	9	18	33	21	18	17	89	89	Viável
T <sub>9</sub>	0.000144	36	31	5	8.897446	5	0	5	21	34	22	21	20	91	91	Viável
T <sub>10</sub>	0.000222	46	35	11	12.209456	12	1	11	20	39	25	3	300	103	103	Inviável
T <sub>11</sub>	0.000176	45	42	3	11.069202	3	0	3	27	44	28	27	26	118	118	Viável
T <sub>12</sub>	0.000247	52	42	10	13.095544	8	0	8	27	44	28	27	26	118	118	Viável
T <sub>13</sub>	0.000236	56	45	11	13.975600	8	1	7	31	49	31	3	167	130	130	Inviável
T <sub>14</sub>	0.000223	56	48	8	14.166484	4	0	4	31	50	32	31	30	132	132	Viável
T <sub>15</sub>	0.000252	50	46	4	15.505421	5	0	5	30	52	33	30	29	138	138	Viável
T <sub>16</sub>	0.000402	71	59	12	22.668934	15	0	15	36	62	40	36	35	166	166	Viável
T <sub>17</sub>	0.000287	64	59	5	19.029312	3	0	3	39	62	40	39	38	166	166	Viável
T <sub>18</sub>	0.000315	67	58	9	19.980314	7	0	7	40	64	41	40	39	172	172	Viável
T <sub>19</sub>	0.000324	67	60	7	21.010036	10	0	10	36	65	42	36	35	174	174	Viável
T <sub>20</sub>	0.000361	80	68	12	23.345819	15	0	15	43	70	45	43	42	186	186	Viável
T <sub>21</sub>	0.000389	85	70	15	25.195667	14	0	14	47	75	48	47	46	201	201	Viável
T <sub>22</sub>	0.000419	81	70	11	25.881348	9	0	9	46	75	48	46	45	201	201	Viável
T <sub>23</sub>	0.000415	80	74	6	27.049591	6	1	5	49	80	51	3	217	213	213	Inviável
T <sub>24</sub>	0.000465	90	77	13	28.935633	12	1	11	51	81	52	3	98	215	215	Inviável
T <sub>25</sub>	0.000520	93	77	16	30.775452	18	1	17	50	83	53	50	49	221	221	Inviável
T <sub>26</sub>	0.000553	107	91	16	34.367599	13	0	13	59	93	60	59	58	249	249	Viável
T <sub>27</sub>	0.000527	105	91	14	34.671463	13	0	13	58	93	60	58	57	249	249	Viável
T <sub>28</sub>	0.000597	106	93	13	36.524040	14	0	14	58	95	61	58	57	255	255	Viável
T <sub>29</sub>	0.000630	114	93	21	37.830009	13	0	13	60	96	62	60	59	257	257	Viável
T <sub>30</sub>	0.004180	155	96	59	67.163597	59	2	57	57	101	65	2	140	269	269	Viável



Tabela 8 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQP	Solução
$T_1$	0.000124	7	0	7	2.114033	7	0	7	0	13	8	0	0	35	35	Viável
$T_2$	0.000066	4	0	4	1.736398	4	0	4	0	13	8	0	0	35	35	Viável
$T_3$	0.000097	14	11	3	2.334851	3	0	3	8	18	11	8	7	47	47	Viável
$T_4$	0.000106	15	12	3	2.533174	3	0	3	11	19	12	11	10	49	49	Viável
$T_5$	0.000103	16	14	2	2.710889	2	0	2	10	21	13	10	9	55	55	Viável
$T_6$	0.000162	31	23	8	4.978522	10	0	10	16	31	20	16	15	83	83	Viável
$T_7$	0.000137	28	23	5	4.459733	4	0	4	17	31	20	17	16	83	83	Viável
$T_8$	0.000161	35	28	7	5.396678	10	0	10	16	33	21	16	15	89	89	Viável
$T_9$	0.000177	38	31	7	5.358876	8	0	8	20	34	22	20	19	91	91	Viável
$T_{10}$	0.000180	36	35	1	5.994751	2	1	1	22	39	25	3	241	103	103	Inviável
$T_{11}$	0.000240	53	42	11	7.160242	7	0	7	27	44	28	27	26	118	118	Viável
$T_{12}$	0.000230	49	42	7	7.102634	9	0	9	27	44	28	27	26	118	118	Viável
$T_{13}$	0.000199	51	45	6	7.489401	5	0	5	30	49	31	30	29	130	130	Viável
$T_{14}$	0.000245	55	48	7	8.620994	9	0	9	30	50	32	30	29	132	132	Viável
$T_{15}$	0.000260	55	46	9	8.451293	9	0	9	30	52	33	30	29	138	138	Viável
$T_{16}$	0.000299	67	59	8	10.545486	8	0	8	39	62	40	39	38	166	166	Viável
$T_{17}$	0.000290	70	59	11	10.310185	8	0	8	39	62	40	39	38	166	166	Viável
$T_{18}$	0.000319	69	58	11	11.324501	10	0	10	39	64	41	39	38	172	172	Viável
$T_{19}$	0.000352	70	60	10	11.737280	9	0	9	38	65	42	38	37	174	174	Viável
$T_{20}$	0.000347	77	68	9	12.228745	10	0	10	42	70	45	42	41	186	186	Viável
$T_{21}$	0.000425	87	70	17	14.161004	12	0	12	45	75	48	45	44	201	201	Viável
$T_{22}$	0.000388	76	70	6	13.694144	7	0	7	44	75	48	44	43	201	201	Viável
$T_{23}$	0.000406	83	74	9	14.487731	10	0	10	50	80	51	50	49	213	213	Viável
$T_{24}$	0.000487	88	77	11	16.120920	9	0	9	49	81	52	49	48	215	215	Viável
$T_{25}$	0.000473	90	77	13	16.261662	15	0	15	51	83	53	51	50	221	221	Viável
$T_{26}$	0.000656	110	91	19	19.532316	16	1	15	60	93	60	2	266	249	249	Inviável
$T_{27}$	0.000630	112	91	21	19.143570	17	0	17	57	93	60	57	56	249	249	Viável
$T_{28}$	0.000544	104	93	11	19.022043	13	0	13	60	95	61	60	59	255	255	Viável
$T_{29}$	0.000675	112	93	19	20.323055	15	0	15	60	96	62	60	59	257	257	Viável
$T_{30}$	0.034098	162	96	66	37.854179	64	0	64	56	101	65	56	55	269	269	Viável



Tabela 9 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQP	Solução
T <sub>1</sub>	0.000121	9	0	9	4.200023	9	0	9	0	13	8	0	0	35	35	Viável
T <sub>2</sub>	0.000065	2	0	2	2.905007	2	0	2	0	13	8	0	0	35	35	Viável
T <sub>3</sub>	0.000085	15	11	4	3.966531	3	0	3	8	18	11	8	7	47	47	Viável
T <sub>4</sub>	0.000094	15	12	3	4.471900	2	0	2	11	19	12	11	10	49	49	Viável
T <sub>5</sub>	0.000110	18	14	4	5.437627	6	0	6	8	21	13	8	7	55	55	Viável
T <sub>6</sub>	0.000154	31	23	8	8.599698	7	0	7	17	31	20	17	16	83	83	Viável
T <sub>7</sub>	0.000137	30	23	7	7.923219	7	0	7	17	31	20	17	16	83	83	Viável
T <sub>8</sub>	0.000175	37	28	9	9.396178	9	0	9	18	33	21	18	17	89	89	Viável
T <sub>9</sub>	0.000144	36	31	5	8.897446	5	0	5	21	34	22	21	20	91	91	Viável
T <sub>10</sub>	0.000222	46	35	11	12.209456	12	1	11	20	39	25	3	300	103	103	Inviável
T <sub>11</sub>	0.000176	45	42	3	11.069202	3	0	3	27	44	28	27	26	118	118	Viável
T <sub>12</sub>	0.000247	52	42	10	13.095544	8	0	8	27	44	28	27	26	118	118	Viável
T <sub>13</sub>	0.000236	56	45	11	13.975600	8	1	7	31	49	31	3	167	130	130	Inviável
T <sub>14</sub>	0.000223	56	48	8	14.166484	4	0	4	31	50	32	31	30	132	132	Viável
T <sub>15</sub>	0.000252	50	46	4	15.505421	5	0	5	30	52	33	30	29	138	138	Viável
T <sub>16</sub>	0.000402	71	59	12	22.668934	15	0	15	36	62	40	36	35	166	166	Viável
T <sub>17</sub>	0.000287	64	59	5	19.029312	3	0	3	39	62	40	39	38	166	166	Viável
T <sub>18</sub>	0.000315	67	58	9	19.980314	7	0	7	40	64	41	40	39	172	172	Viável
T <sub>19</sub>	0.000324	67	60	7	21.010036	10	0	10	36	65	42	36	35	174	174	Viável
T <sub>20</sub>	0.000361	80	68	12	23.345819	15	0	15	43	70	45	43	42	186	186	Viável
T <sub>21</sub>	0.000389	85	70	15	25.195667	14	0	14	47	75	48	47	46	201	201	Viável
T <sub>22</sub>	0.000419	81	70	11	25.881348	9	0	9	46	75	48	46	45	201	201	Viável
T <sub>23</sub>	0.000415	80	74	6	27.049591	6	1	5	49	80	51	3	217	213	213	Inviável
T <sub>24</sub>	0.000465	90	77	13	28.935633	12	1	11	51	81	52	3	98	215	215	Inviável
T <sub>25</sub>	0.000520	93	77	16	30.775452	18	1	17	50	83	53	50	49	221	221	Inviável
T <sub>26</sub>	0.000553	107	91	16	34.367599	13	0	13	59	93	60	59	58	249	249	Viável
T <sub>27</sub>	0.000527	105	91	14	34.671463	13	0	13	58	93	60	58	57	249	249	Viável
T <sub>28</sub>	0.000597	106	93	13	36.524040	14	0	14	58	95	61	58	57	255	255	Viável
T <sub>29</sub>	0.000630	114	93	21	37.830009	13	0	13	60	96	62	60	59	257	257	Viável
T <sub>30</sub>	0.004180	155	96	59	67.163597	59	2	57	57	101	65	2	140	269	269	Viável

**APÊNDICE B - RESULTADOS DA CLASSE 2**



Tabela 10 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>31</sub>	0.000162	7	0	7	0.273745	6	1	5	1	10	10	3	3	58	58	Inviável
T <sub>32</sub>	0.000108	7	0	7	0.390057	6	1	5	1	15	15	3	22	78	78	Inviável
T <sub>33</sub>	0.000113	3	0	3	0.462609	2	1	1	1	20	20	3	12	116	116	Inviável
T <sub>34</sub>	0.000177	9	0	9	0.684662	7	1	6	2	25	25	3	21	136	136	Inviável
T <sub>35</sub>	0.000227	5	0	5	0.909702	4	1	3	1	30	30	2	26	174	174	Inviável
T <sub>36</sub>	0.000172	9	0	9	0.951534	9	0	9	0	35	35	0	0	194	194	Viável
T <sub>37</sub>	0.000287	8	0	8	1.328188	8	0	8	0	40	40	0	0	232	232	Viável
T <sub>38</sub>	0.000283	8	0	8	1.451540	8	0	8	0	45	45	0	0	252	252	Viável
T <sub>39</sub>	0.000400	12	0	12	1.779319	12	0	12	0	50	50	0	0	290	290	Viável
T <sub>40</sub>	0.000393	14	0	14	1.982648	13	1	12	1	55	55	2	35	310	310	Inviável
T <sub>41</sub>	0.000659	25	0	25	2.381119	25	0	25	0	60	60	0	0	348	348	Viável
T <sub>42</sub>	0.000608	17	0	17	2.806408	16	1	15	1	65	65	3	25	368	368	Inviável
T <sub>43</sub>	0.000808	27	0	27	3.007185	26	1	25	1	70	70	2	2	406	406	Inviável
T <sub>44</sub>	0.000458	12	0	12	2.948515	12	0	12	0	75	75	0	0	426	426	Viável
T <sub>45</sub>	0.001111	30	0	30	3.988946	29	1	28	1	80	80	3	49	464	464	Inviável
T <sub>46</sub>	0.000459	15	0	15	3.412099	15	0	15	0	85	85	0	0	484	484	Viável
T <sub>47</sub>	0.000627	16	0	16	3.863402	16	0	16	0	90	90	0	0	522	522	Viável
T <sub>48</sub>	0.001052	28	0	28	5.118359	27	1	26	1	95	95	3	45	542	542	Inviável
T <sub>49</sub>	0.037998	47	0	47	6.702443	46	2	44	1	100	100	2	58	580	580	Viável
T <sub>50</sub>	0.001063	21	0	21	5.603006	20	1	19	1	105	105	3	13	600	600	Inviável
T <sub>51</sub>	0.000556	5	0	5	4.634833	5	0	5	0	110	110	0	0	638	638	Viável
T <sub>52</sub>	0.000962	22	0	22	5.975499	22	0	22	0	115	115	0	0	658	658	Viável
T <sub>53</sub>	0.001918	39	0	39	7.487999	39	0	39	0	120	120	0	0	696	696	Viável
T <sub>54</sub>	0.002033	46	0	46	8.495247	45	1	44	1	125	125	3	54	716	716	Inviável
T <sub>55</sub>	0.051613	54	0	54	10.062403	53	1	52	1	130	130	3	57	754	754	Inviável
T <sub>56</sub>	0.002107	39	0	39	8.967223	38	2	36	1	135	135	2	11	774	774	Viável
T <sub>57</sub>	0.001557	32	0	32	8.749532	32	0	32	0	140	140	0	0	812	812	Viável
T <sub>58</sub>	0.015676	62	0	62	10.891516	61	1	60	1	145	145	2	57	832	832	Inviável
T <sub>59</sub>	0.021270	55	0	55	11.584289	55	0	55	0	150	150	0	0	870	870	Viável
T <sub>60</sub>	0.003139	49	0	49	11.218991	49	0	49	0	155	155	0	0	890	890	Viável



Tabela 11 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>31</sub>	0.000147	7	0	7	1.180156	6	1	5	1	10	10	3	103	58	58	Inviável
T <sub>32</sub>	0.000085	4	0	4	1.278502	4	0	4	0	15	15	0	0	78	78	Viável
T <sub>33</sub>	0.000164	7	0	7	2.239032	6	1	5	1	20	20	3	182	116	116	Inviável
T <sub>34</sub>	0.000167	9	0	9	2.730856	9	0	9	0	25	25	0	0	136	136	Viável
T <sub>35</sub>	0.000216	8	0	8	3.651863	8	0	8	0	30	30	0	0	174	174	Viável
T <sub>36</sub>	0.000212	14	0	14	4.300585	12	2	10	2	35	35	2	174	194	194	Inviável
T <sub>37</sub>	0.000315	11	0	11	5.219161	9	1	8	2	40	40	3	48	232	232	Inviável
T <sub>38</sub>	0.000328	11	0	11	5.762081	11	0	11	0	45	45	0	0	252	252	Viável
T <sub>39</sub>	0.000485	24	0	24	8.105321	22	1	21	2	50	50	2	78	290	290	Inviável
T <sub>40</sub>	0.000598	24	0	24	9.436091	23	1	22	1	55	55	3	42	310	310	Inviável
T <sub>41</sub>	0.000465	24	0	24	8.864758	24	0	24	0	60	60	0	0	348	348	Viável
T <sub>42</sub>	0.000555	13	0	13	10.006596	12	1	11	1	65	65	3	50	368	368	Inviável
T <sub>43</sub>	0.000477	21	0	21	10.794574	20	1	19	1	70	70	2	2	406	406	Inviável
T <sub>44</sub>	0.000507	16	0	16	11.853430	16	0	16	0	75	75	0	0	426	426	Viável
T <sub>45</sub>	0.000673	23	0	23	14.182028	20	2	18	3	80	80	2	105	464	464	Inviável
T <sub>46</sub>	0.000952	29	0	29	15.923290	28	1	27	1	85	85	3	134	484	484	Inviável
T <sub>47</sub>	0.000696	18	0	18	15.432588	18	0	18	0	90	90	0	0	522	522	Viável
T <sub>48</sub>	0.001239	33	0	33	20.123501	31	1	30	2	95	95	3	26	542	542	Inviável
T <sub>49</sub>	0.000901	25	0	25	19.050097	24	1	23	1	100	100	3	53	580	580	Inviável
T <sub>50</sub>	0.001658	30	0	30	25.151896	29	2	27	1	105	105	2	147	600	600	Viável
T <sub>51</sub>	0.000856	23	0	23	21.456860	23	0	23	0	110	110	0	0	638	638	Viável
T <sub>52</sub>	0.001312	35	0	35	26.048878	34	1	33	1	115	115	2	50	658	658	Inviável
T <sub>53</sub>	0.001029	32	0	32	25.500595	31	2	29	1	120	120	2	7	696	696	Inviável
T <sub>54</sub>	0.002039	39	0	39	32.390564	38	1	37	1	125	125	2	123	716	716	Inviável
T <sub>55</sub>	0.001966	49	0	49	32.091835	47	1	46	2	130	130	3	29	754	754	Inviável
T <sub>56</sub>	0.001271	29	0	29	32.264431	27	1	26	2	135	135	3	94	774	774	Inviável
T <sub>57</sub>	0.002186	54	0	54	38.725941	54	0	54	0	140	140	0	0	812	812	Viável
T <sub>58</sub>	0.003486	48	0	48	43.250088	48	0	48	0	145	145	0	0	832	832	Viável
T <sub>59</sub>	0.003101	64	0	64	43.430756	63	1	62	1	150	150	3	118	870	870	Inviável
T <sub>60</sub>	0.002239	42	0	42	41.717770	42	0	42	0	155	155	0	0	890	890	Viável



Tabela 12 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>31</sub>	0.000156	9	0	9	2.615079	8	2	6	1	10	10	2	88	58	58	Inviável
T <sub>32</sub>	0.000113	9	0	9	3.595152	8	2	6	1	15	15	2	34	78	78	Viável
T <sub>33</sub>	0.000144	5	0	5	4.522682	4	1	3	1	20	20	3	139	116	116	Inviável
T <sub>34</sub>	0.000113	8	0	8	5.233789	7	2	5	1	25	25	2	29	136	136	Viável
T <sub>35</sub>	0.000189	10	0	10	7.606854	9	1	8	1	30	30	3	18	174	174	Inviável
T <sub>36</sub>	0.000233	14	0	14	9.588375	12	1	11	2	35	35	3	55	194	194	Inviável
T <sub>37</sub>	0.000235	11	0	11	10.375480	8	1	7	3	40	40	3	205	232	232	Inviável
T <sub>38</sub>	0.000394	14	0	14	14.539447	13	2	11	1	45	45	2	176	252	252	Inviável
T <sub>39</sub>	0.000278	5	0	5	13.207901	5	0	5	0	50	50	0	0	290	290	Viável
T <sub>40</sub>	0.000359	16	0	16	17.745337	15	2	13	1	55	55	2	36	310	310	Inviável
T <sub>41</sub>	0.000436	18	0	18	19.708656	16	1	15	2	60	60	3	32	348	348	Inviável
T <sub>42</sub>	0.000526	22	0	22	22.930471	20	1	19	2	65	65	3	10	368	368	Inviável
T <sub>43</sub>	0.000930	28	0	28	28.409157	27	1	26	1	70	70	3	246	406	406	Inviável
T <sub>44</sub>	0.000888	19	0	19	29.068239	18	1	17	1	75	75	3	37	426	426	Inviável
T <sub>45</sub>	0.000625	16	0	16	29.827166	15	1	14	1	80	80	3	236	464	464	Inviável
T <sub>46</sub>	0.000907	27	0	27	34.921013	25	2	23	2	85	85	2	106	484	484	Viável
T <sub>47</sub>	0.000568	15	0	15	33.344288	14	2	12	1	90	90	2	8	522	522	Inviável
T <sub>48</sub>	0.000753	15	0	15	38.147461	14	1	13	1	95	95	3	224	542	542	Inviável
T <sub>49</sub>	0.000717	13	0	13	39.012367	13	0	13	0	100	100	0	0	580	580	Viável
T <sub>50</sub>	0.000531	2	0	2	34.815956	2	0	2	0	105	105	0	0	600	600	Viável
T <sub>51</sub>	0.001168	30	0	30	53.288704	29	1	28	1	110	110	3	282	638	638	Inviável
T <sub>52</sub>	0.000985	25	0	25	53.237213	24	1	23	1	115	115	3	61	658	658	Inviável
T <sub>53</sub>	0.001534	44	0	44	63.604439	43	1	42	1	120	120	3	136	696	696	Inviável
T <sub>54</sub>	0.000761	16	0	16	52.441685	14	2	12	2	125	125	2	77	716	716	Inviável
T <sub>55</sub>	0.001055	27	0	27	61.299709	27	0	27	0	130	130	0	0	754	754	Viável
T <sub>56</sub>	0.002094	39	0	39	79.308372	37	1	36	2	135	135	3	260	774	774	Inviável
T <sub>57</sub>	0.003072	57	0	57	86.724030	55	3	52	2	140	140	1	222	812	812	Inviável
T <sub>58</sub>	0.002981	56	0	56	91.902611	55	1	54	1	145	145	3	125	832	832	Inviável
T <sub>59</sub>	0.003124	51	0	51	98.584045	50	1	49	1	150	150	3	166	870	870	Inviável
T <sub>60</sub>	0.001724	35	0	35	86.679047	34	1	33	1	155	155	3	213	890	890	Inviável



Tabela 13 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
$T_{31}$	0.000151	10	0	10	5.071937	8	2	6	2	10	10	2	46	58	58	Inviável
$T_{32}$	0.000090	4	0	4	5.170916	3	2	1	1	15	15	2	169	78	78	Inviável
$T_{33}$	0.000107	5	0	5	6.712778	5	0	5	0	20	20	0	0	116	116	Viável
$T_{34}$	0.000152	5	0	5	9.420621	5	0	5	0	25	25	0	0	136	136	Viável
$T_{35}$	0.000221	10	0	10	14.109071	9	1	8	1	30	30	2	152	174	174	Inviável
$T_{36}$	0.000193	7	0	7	14.984569	6	1	5	1	35	35	3	211	194	194	Inviável
$T_{37}$	0.000398	17	0	17	22.239225	16	1	15	1	40	40	3	58	232	232	Inviável
$T_{38}$	0.000472	21	0	21	26.776621	19	1	18	2	45	45	2	372	252	252	Inviável
$T_{39}$	0.000231	5	0	5	22.689589	5	0	5	0	50	50	0	0	290	290	Viável
$T_{40}$	0.000507	22	0	22	32.888725	21	1	20	1	55	55	3	146	310	310	Inviável
$T_{41}$	0.000334	11	0	11	31.624989	11	0	11	0	60	60	0	0	348	348	Viável
$T_{42}$	0.000622	16	0	16	40.392376	14	2	12	2	65	65	2	12	368	368	Inviável
$T_{43}$	0.000537	19	0	19	42.479244	18	1	17	1	70	70	3	113	406	406	Inviável
$T_{44}$	0.000872	25	0	25	52.914383	23	1	22	2	75	75	3	65	426	426	Inviável
$T_{45}$	0.000410	5	0	5	44.121441	5	0	5	0	80	80	0	0	464	464	Viável
$T_{46}$	0.000979	26	0	26	61.520485	26	0	26	0	85	85	0	0	484	484	Viável
$T_{47}$	0.000524	14	0	14	58.946838	13	1	12	1	90	90	3	7	522	522	Inviável
$T_{48}$	0.001121	32	0	32	76.480675	31	2	29	1	95	95	2	303	542	542	Inviável
$T_{49}$	0.000645	12	0	12	67.256622	12	0	12	0	100	100	0	0	580	580	Viável
$T_{50}$	0.000782	19	0	19	75.063278	19	0	19	0	105	105	0	0	600	600	Viável
$T_{51}$	0.001895	40	0	40	105.254326	39	1	38	1	110	110	3	22	638	638	Inviável
$T_{52}$	0.002117	49	0	49	112.761627	47	1	46	2	115	115	3	118	658	658	Inviável
$T_{53}$	0.001364	32	0	32	106.626328	31	2	29	1	120	120	2	97	696	696	Inviável
$T_{54}$	0.018195	60	0	60	132.780197	59	1	58	1	125	125	3	221	716	716	Inviável
$T_{55}$	0.002377	55	0	55	141.962936	53	1	52	2	130	130	3	59	754	754	Inviável
$T_{56}$	0.008587	60	0	60	156.444183	58	2	56	2	135	135	2	186	774	774	Inviável
$T_{57}$	0.000831	14	0	14	110.073586	13	1	12	1	140	140	2	236	812	812	Inviável
$T_{58}$	0.039960	64	0	64	174.982620	62	2	60	2	145	145	1	223	832	832	Inviável
$T_{59}$	0.003093	56	0	56	166.641754	55	1	54	1	150	150	3	44	870	870	Inviável
$T_{60}$	0.001727	38	0	38	159.626587	36	1	35	1	155	155	3	112	890	890	Inviável

**APÊNDICE C – RESULTADOS DA CLASSE 3**



Tabela 14 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQPD	Solução
T <sub>61</sub>	0.000092	7	0	7	0.274475	6	1	5	1	10	10	3	93	22	22	Inviável
T <sub>62</sub>	0.000082	3	0	3	0.277335	3	0	3	0	13	13	0	0	37	37	Viável
T <sub>63</sub>	0.000083	3	0	3	0.334913	3	0	3	0	16	16	0	0	43	43	Viável
T <sub>64</sub>	0.000096	1	0	1	0.404325	1	0	1	0	19	19	0	0	49	49	Viável
T <sub>65</sub>	0.000154	6	0	6	0.579330	6	0	6	0	22	22	0	0	54	54	Viável
T <sub>66</sub>	0.000123	7	0	7	0.635981	7	0	7	0	25	25	0	0	60	60	Viável
T <sub>67</sub>	0.000130	3	0	3	0.686432	3	0	3	0	28	28	0	0	66	66	Viável
T <sub>68</sub>	0.000153	8	0	8	0.814895	7	2	5	1	31	31	2	69	71	71	Inviável
T <sub>69</sub>	0.000192	3	0	3	0.911881	3	0	3	0	34	34	0	0	77	77	Viável
T <sub>70</sub>	0.000155	2	0	2	0.930689	2	0	2	0	37	37	0	0	83	83	Viável
T <sub>71</sub>	0.000195	8	0	8	1.211213	8	0	8	0	40	40	0	0	88	88	Viável
T <sub>72</sub>	0.000216	7	0	7	1.231744	7	0	7	0	43	43	0	0	103	103	Viável
T <sub>73</sub>	0.000235	8	0	8	1.357197	8	0	8	0	46	46	0	0	109	109	Viável
T <sub>74</sub>	0.000214	4	0	4	1.421082	3	1	2	1	49	49	3	17	115	115	Inviável
T <sub>75</sub>	0.000250	10	0	10	1.662150	9	2	7	1	52	52	2	94	120	120	Inviável
T <sub>76</sub>	0.000301	6	0	6	1.852590	6	0	6	0	55	55	0	0	126	126	Viável
T <sub>77</sub>	0.000262	7	0	7	1.886577	7	0	7	0	58	58	0	0	132	132	Viável
T <sub>78</sub>	0.000393	16	0	16	2.452971	16	0	16	0	61	61	0	0	137	137	Viável
T <sub>79</sub>	0.000350	13	0	13	2.396463	12	1	11	1	64	64	2	82	143	143	Inviável
T <sub>80</sub>	0.000427	18	0	18	2.673827	18	0	18	0	67	67	0	0	149	149	Viável
T <sub>81</sub>	0.000352	10	0	10	2.569814	10	0	10	0	70	70	0	0	154	154	Viável
T <sub>82</sub>	0.000468	12	0	12	2.879240	12	0	12	0	73	73	0	0	169	169	Viável
T <sub>83</sub>	0.000399	9	0	9	2.788131	9	0	9	0	76	76	0	0	175	175	Viável
T <sub>84</sub>	0.000522	20	0	20	3.447437	20	0	20	0	79	79	0	0	181	181	Viável
T <sub>85</sub>	0.000512	15	0	15	3.725257	15	0	15	0	82	82	0	0	186	186	Viável
T <sub>86</sub>	0.000506	20	0	20	3.733343	19	1	18	1	85	85	3	59	192	192	Inviável
T <sub>87</sub>	0.000628	18	0	18	3.944557	18	0	18	0	88	88	0	0	198	198	Viável
T <sub>88</sub>	0.000533	14	0	14	4.090196	14	0	14	0	91	91	0	0	203	203	Viável
T <sub>89</sub>	0.000571	10	0	10	4.157550	10	0	10	0	94	94	0	0	209	209	Viável
T <sub>90</sub>	0.000872	30	0	30	5.466869	30	0	30	0	97	97	0	0	215	215	Viável



Tabela 15 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQPD	Solução
T <sub>61</sub>	0.000093	4	0	4	0.946743	4	0	4	0	10	10	0	0	22	22	Viável
T <sub>62</sub>	0.000071	3	0	3	1.083430	3	0	3	0	13	13	0	0	37	37	Viável
T <sub>63</sub>	0.000075	4	0	4	1.350949	4	0	4	0	16	16	0	0	43	43	Viável
T <sub>64</sub>	0.000098	4	0	4	1.605055	4	0	4	0	19	19	0	0	49	49	Viável
T <sub>65</sub>	0.000103	4	0	4	1.852857	4	0	4	0	22	22	0	0	54	54	Viável
T <sub>66</sub>	0.000122	3	0	3	2.386419	3	0	3	0	25	25	0	0	60	60	Viável
T <sub>67</sub>	0.000120	4	0	4	2.639815	4	0	4	0	28	28	0	0	66	66	Viável
T <sub>68</sub>	0.000971	17	0	17	4.650862	16	1	15	1	31	31	2	62	71	71	Inviável
T <sub>69</sub>	0.000153	5	0	5	3.502609	5	0	5	0	34	34	0	0	77	77	Viável
T <sub>80</sub>	0.000190	4	0	4	4.079507	3	1	2	1	37	37	3	49	83	83	Inviável
T <sub>71</sub>	0.000196	8	0	8	4.785531	7	1	6	1	40	40	3	87	88	88	Inviável
T <sub>72</sub>	0.000213	5	0	5	4.822252	5	0	5	0	43	43	0	0	103	103	Viável
T <sub>73</sub>	0.000232	9	0	9	5.311433	9	0	9	0	46	46	0	0	109	109	Viável
T <sub>74</sub>	0.000262	7	0	7	5.853807	7	0	7	0	49	49	0	0	115	115	Viável
T <sub>75</sub>	0.000223	4	0	4	5.712095	4	0	4	0	52	52	0	0	120	120	Viável
T <sub>76</sub>	0.000298	8	0	8	6.828451	8	0	8	0	55	55	0	0	126	126	Viável
T <sub>77</sub>	0.000272	8	0	8	7.198628	7	1	6	1	58	58	2	39	132	132	Inviável
T <sub>78</sub>	0.000291	7	0	7	7.711761	7	0	7	0	61	61	0	0	137	137	Viável
T <sub>79</sub>	0.000354	13	0	13	8.853678	13	0	13	0	64	64	0	0	143	143	Viável
T <sub>80</sub>	0.000488	18	0	18	10.579736	18	0	18	0	67	67	0	0	149	149	Viável
T <sub>81</sub>	0.000381	12	0	12	10.177325	12	0	12	0	70	70	0	0	154	154	Viável
T <sub>82</sub>	0.000400	9	0	9	10.298887	9	0	9	0	73	73	0	0	169	169	Viável
T <sub>83</sub>	0.000421	6	0	6	10.697060	6	0	6	0	76	76	0	0	175	175	Viável
T <sub>84</sub>	0.000570	16	0	16	13.048265	16	0	16	0	79	79	0	0	181	181	Viável
T <sub>85</sub>	0.000461	14	0	14	12.518533	13	1	12	1	82	82	3	182	186	186	Inviável
T <sub>86</sub>	0.000591	13	0	13	14.635650	12	1	11	1	85	85	3	52	192	192	Inviável
T <sub>87</sub>	0.000600	12	0	12	14.397800	12	0	12	0	88	88	0	0	198	198	Viável
T <sub>88</sub>	0.000621	15	0	15	15.019579	15	0	15	0	91	91	0	0	203	203	Viável
T <sub>89</sub>	0.000440	3	0	3	13.305199	3	0	3	0	94	94	0	0	209	209	Viável
T <sub>90</sub>	0.000585	14	0	14	16.047464	14	0	14	0	97	97	0	0	215	215	Viável



Tabela 16 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQT	QPQPD	Solução
T <sub>61</sub>	0.000092	4	0	4	2.302349	4	0	4	0	10	10	0	0	22	22	Viável
T <sub>62</sub>	0.000075	3	0	3	2.314172	3	0	3	0	13	13	0	0	37	37	Viável
T <sub>63</sub>	0.000077	4	0	4	3.091009	3	1	2	1	16	16	3	278	43	43	Inviável
T <sub>64</sub>	0.000102	5	0	5	3.789638	5	0	5	0	19	19	0	0	49	49	Viável
T <sub>65</sub>	0.000102	3	0	3	4.124852	3	0	3	0	22	22	0	0	54	54	Viável
T <sub>66</sub>	0.000115	6	0	6	5.241518	5	1	4	1	25	25	3	136	60	60	Inviável
T <sub>67</sub>	0.000138	6	0	6	6.354083	5	1	4	1	28	28	3	77	66	66	Inviável
T <sub>68</sub>	0.000158	7	0	7	7.332290	7	0	7	0	31	31	0	0	71	71	Viável
T <sub>69</sub>	0.000160	2	0	2	7.435463	2	0	2	0	34	34	0	0	77	77	Viável
T <sub>70</sub>	0.000185	6	0	6	8.716879	6	0	6	0	37	37	0	0	83	83	Viável
T <sub>71</sub>	0.000192	8	0	8	10.189024	7	1	6	1	40	40	3	97	88	88	Inviável
T <sub>72</sub>	0.000264	11	0	11	11.562062	11	0	11	0	43	43	0	0	103	103	Viável
T <sub>73</sub>	0.000201	5	0	5	11.146279	5	0	5	0	46	46	0	0	109	109	Viável
T <sub>74</sub>	0.000289	10	0	10	13.520040	9	1	8	1	49	49	2	228	115	115	Inviável
T <sub>75</sub>	0.000227	4	0	4	13.598935	4	0	4	0	52	52	0	0	120	120	Viável
T <sub>76</sub>	0.000242	8	0	8	14.324438	8	0	8	0	55	55	0	0	126	126	Viável
T <sub>77</sub>	0.000314	5	0	5	16.585722	5	0	5	0	58	58	0	0	132	132	Viável
T <sub>78</sub>	0.000323	9	0	9	17.713476	9	0	9	0	61	61	0	0	137	137	Viável
T <sub>79</sub>	0.000283	5	0	5	17.436422	5	0	5	0	64	64	0	0	143	143	Viável
T <sub>80</sub>	0.000359	10	0	10	20.729908	10	0	10	0	67	67	0	0	149	149	Viável
T <sub>81</sub>	0.000316	9	0	9	20.443260	8	1	7	1	70	70	3	260	154	154	Inviável
T <sub>82</sub>	0.000338	9	0	9	22.298750	9	0	9	0	73	73	0	0	169	169	Viável
T <sub>83</sub>	0.000413	13	0	13	25.906265	13	0	13	0	76	76	0	0	175	175	Viável
T <sub>84</sub>	0.000374	6	0	6	23.996771	6	0	6	0	79	79	0	0	181	181	Viável
T <sub>85</sub>	0.000590	19	0	19	30.467159	19	0	19	0	82	82	0	0	186	186	Viável
T <sub>86</sub>	0.000541	15	0	15	30.736439	15	0	15	0	85	85	0	0	192	192	Viável
T <sub>87</sub>	0.000500	8	0	8	30.048157	8	0	8	0	88	88	0	0	198	198	Viável
T <sub>88</sub>	0.000593	14	0	14	34.238209	12	2	10	2	91	91	2	292	203	203	Inviável
T <sub>89</sub>	0.000787	25	0	25	39.795071	25	0	25	0	94	94	0	0	209	209	Viável
T <sub>90</sub>	0.000609	14	0	14	37.197544	14	0	14	0	97	97	0	0	215	215	Viável



Tabela 17 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QMQPT	QPQPD	Solução
T <sub>61</sub>	0.000200	4	0	4	3.497634	4	0	4	0	10	10	0	0	22	22	Viável
T <sub>62</sub>	0.000089	5	0	5	4.667260	5	0	5	0	13	13	0	0	37	37	Viável
T <sub>63</sub>	0.000098	3	0	3	5.221797	2	1	1	1	16	16	2	91	43	43	Inviável
T <sub>64</sub>	0.000117	3	0	3	6.546982	3	0	3	0	19	19	0	0	49	49	Viável
T <sub>65</sub>	0.000115	8	0	8	8.570376	8	0	8	0	22	22	0	0	54	54	Viável
T <sub>66</sub>	0.000133	7	0	7	9.689416	6	1	5	1	25	25	3	165	60	60	Inviável
T <sub>67</sub>	0.000168	4	0	4	11.750108	4	0	4	0	28	28	0	0	66	66	Viável
T <sub>68</sub>	0.000179	10	0	10	13.780683	9	1	8	1	31	31	2	27	71	71	Inviável
T <sub>69</sub>	0.000136	1	0	1	12.083615	1	0	1	0	34	34	0	0	77	77	Viável
T <sub>70</sub>	0.000175	4	0	4	15.189783	4	0	4	0	37	37	0	0	83	83	Viável
T <sub>71</sub>	0.000173	4	0	4	16.731325	4	0	4	0	40	40	0	0	88	88	Viável
T <sub>72</sub>	0.000246	9	0	9	20.333763	9	0	9	0	43	43	0	0	103	103	Viável
T <sub>73</sub>	0.000251	5	0	5	21.532743	4	1	3	1	46	46	3	354	109	109	Inviável
T <sub>74</sub>	0.000260	8	0	8	23.183388	7	1	6	1	49	49	3	56	115	115	Inviável
T <sub>75</sub>	0.000293	12	0	12	26.941450	11	1	10	1	52	52	3	36	120	120	Inviável
T <sub>76</sub>	0.000309	6	0	6	27.981998	6	0	6	0	55	55	0	0	126	126	Viável
T <sub>77</sub>	0.000268	8	0	8	28.345861	8	0	8	0	58	58	0	0	132	132	Viável
T <sub>78</sub>	0.000412	14	0	14	34.623760	13	1	12	1	61	61	3	47	137	137	Inviável
T <sub>79</sub>	0.000305	8	0	8	33.484306	8	0	8	0	64	64	0	0	143	143	Viável
T <sub>80</sub>	0.000336	7	0	7	35.378513	7	0	7	0	67	67	0	0	149	149	Viável
T <sub>81</sub>	0.000355	9	0	9	37.770302	9	0	9	0	70	70	0	0	154	154	Viável
T <sub>82</sub>	0.000352	5	0	5	39.036236	5	0	5	0	73	73	0	0	169	169	Viável
T <sub>83</sub>	0.000472	11	0	11	46.169849	10	1	9	1	76	76	3	230	175	175	Inviável
T <sub>84</sub>	0.000394	8	0	8	44.627403	8	0	8	0	79	79	0	0	181	181	Viável
T <sub>85</sub>	0.000379	2	0	2	43.979855	2	0	2	0	82	82	0	0	186	186	Viável
T <sub>86</sub>	0.000468	10	0	10	52.476982	10	0	10	0	85	85	0	0	192	192	Viável
T <sub>87</sub>	0.003263	48	0	48	93.063744	47	3	44	1	88	88	0	56	198	198	Inviável
T <sub>88</sub>	0.000548	15	0	15	59.436165	14	1	13	1	91	91	3	115	203	203	Inviável
T <sub>89</sub>	0.000630	12	0	12	61.157127	12	0	12	0	94	94	0	0	209	209	Viável
T <sub>90</sub>	0.000588	14	0	14	64.395424	14	0	14	0	97	97	0	0	215	215	Viável

**APÊNDICE D – RESULTADOS DA CLASSE 4**

Tabela 18 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>91</sub>	0.000161	7	0	7	0.312782	7	0	7	0	10	10	0	0	46	46	Víável
T <sub>92</sub>	0.000106	7	0	7	0.364432	6	1	5	1	15	15	3	83	67	67	Inviável
T <sub>93</sub>	0.000136	4	0	4	0.457212	4	0	4	0	20	20	0	0	92	92	Víável
T <sub>94</sub>	0.000194	9	0	9	0.778317	9	0	9	0	25	25	0	0	113	113	Víável
T <sub>95</sub>	0.000378	13	0	13	0.986748	13	0	13	0	30	30	0	0	138	138	Víável
T <sub>96</sub>	0.000212	7	0	7	1.027551	7	0	7	0	35	35	0	0	159	159	Víável
T <sub>97</sub>	0.000178	3	0	3	1.051519	3	0	3	0	40	40	0	0	184	184	Víável
T <sub>98</sub>	0.000312	10	0	10	1.413817	10	0	10	0	45	45	0	0	205	205	Víável
T <sub>99</sub>	0.000434	22	0	22	1.957477	21	1	20	1	50	50	3	36	230	230	Inviável
T <sub>110</sub>	0.000363	11	0	11	1.923608	10	1	9	1	55	55	3	27	251	251	Inviável
T <sub>111</sub>	0.000266	8	0	8	1.910518	8	0	8	0	60	60	0	0	276	276	Víável
T <sub>112</sub>	0.000535	17	0	17	2.701651	17	0	17	0	65	65	0	0	297	297	Víável
T <sub>113</sub>	0.000470	17	0	17	2.631805	17	0	17	0	70	70	0	0	322	322	Víável
T <sub>114</sub>	0.000776	20	0	20	3.255888	20	0	20	0	75	75	0	0	343	343	Víável
T <sub>115</sub>	0.000807	26	0	26	3.906788	25	2	23	1	80	80	1	25	368	368	Inviável
T <sub>116</sub>	0.000800	21	0	21	3.939041	21	0	21	0	85	85	0	0	389	389	Víável
T <sub>117</sub>	0.000981	25	0	25	4.496141	25	0	25	0	90	90	0	0	414	414	Víável
T <sub>118</sub>	0.000826	18	0	18	4.568687	18	0	18	0	95	95	0	0	435	435	Víável
T <sub>119</sub>	0.000473	2	0	2	3.770130	2	0	2	0	100	100	0	0	460	460	Víável
T <sub>120</sub>	0.000991	24	0	24	5.188338	24	0	24	0	105	105	0	0	481	481	Víável
T <sub>121</sub>	0.001428	25	0	25	6.117057	25	0	25	0	110	110	0	0	506	506	Víável
T <sub>122</sub>	0.000825	12	0	12	5.614693	12	0	12	0	115	115	0	0	527	527	Víável
T <sub>123</sub>	0.001844	51	0	51	8.492271	50	2	48	1	120	120	2	71	552	552	Víável
T <sub>124</sub>	0.001926	37	0	37	8.159235	37	0	37	0	125	125	0	0	573	573	Víável
T <sub>125</sub>	0.000900	16	0	16	6.753632	16	0	16	0	130	130	0	0	598	598	Víável
T <sub>126</sub>	0.001385	30	0	30	8.190632	30	0	30	0	135	135	0	0	619	619	Víável
T <sub>127</sub>	0.001397	29	0	29	8.274704	29	0	29	0	140	140	0	0	644	644	Víável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 19 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>91</sub>	0.000137	4	0	4	1.138001	4	0	4	0	10	10	0	0	46	46	Viável
T <sub>92</sub>	0.000130	8	0	8	1.589105	8	0	8	0	15	15	0	0	67	67	Viável
T <sub>93</sub>	0.000142	4	0	4	1.786085	4	0	4	0	20	20	0	0	92	92	Viável
T <sub>94</sub>	0.000167	5	0	5	2.618650	4	1	3	1	25	25	3	75	113	113	Inviável
T <sub>95</sub>	0.000184	10	0	10	3.311405	9	1	8	1	30	30	3	28	138	138	Inviável
T <sub>96</sub>	0.000189	7	0	7	3.749768	7	0	7	0	35	35	0	0	159	159	Viável
T <sub>97</sub>	0.000211	11	0	11	4.434138	10	1	9	1	40	40	3	84	184	184	Inviável
T <sub>98</sub>	0.000271	12	0	12	5.730974	11	1	10	1	45	45	3	45	205	205	Inviável
T <sub>99</sub>	0.000310	11	0	11	6.603997	9	3	6	2	50	50	1	118	230	230	Inviável
T <sub>110</sub>	0.000262	8	0	8	6.631235	8	0	8	0	55	55	0	0	251	251	Viável
T <sub>111</sub>	0.000466	12	0	12	8.836717	11	1	10	1	60	60	3	31	276	276	Inviável
T <sub>112</sub>	0.000968	24	0	24	11.275117	24	0	24	0	65	65	0	0	297	297	Viável
T <sub>113</sub>	0.000375	6	0	6	9.298056	6	0	6	0	70	70	0	0	322	322	Viável
T <sub>114</sub>	0.000470	7	0	7	10.974455	7	0	7	0	75	75	0	0	343	343	Viável
T <sub>115</sub>	0.000699	22	0	22	15.227525	20	3	17	2	80	80	1	187	368	368	Inviável
T <sub>116</sub>	0.000877	22	0	22	15.575080	21	1	20	1	85	85	3	93	389	389	Inviável
T <sub>117</sub>	0.000518	11	0	11	14.339385	10	1	9	1	90	90	2	31	414	414	Inviável
T <sub>118</sub>	0.000751	15	0	15	17.468817	14	1	13	1	95	95	3	3	435	435	Inviável
T <sub>119</sub>	0.000928	18	0	18	19.231247	17	2	15	1	100	100	1	10	460	460	Inviável
T <sub>120</sub>	0.001309	31	0	31	22.826689	30	1	29	1	105	105	3	56	481	481	Inviável
T <sub>121</sub>	0.001363	37	0	37	25.028572	36	3	33	1	110	110	0	86	506	506	Inviável
T <sub>122</sub>	0.001008	20	0	20	23.115040	19	1	18	1	115	115	3	13	527	527	Inviável
T <sub>123</sub>	0.000926	21	0	21	25.006533	20	1	19	1	120	120	3	50	552	552	Inviável
T <sub>124</sub>	0.001014	27	0	27	25.688168	26	2	24	1	125	125	2	130	573	573	Inviável
T <sub>125</sub>	0.001195	28	0	28	30.406149	27	3	24	1	130	130	1	46	598	598	Inviável
T <sub>126</sub>	0.001528	31	0	31	32.263351	30	1	29	1	135	135	3	81	619	619	Inviável
T <sub>127</sub>	0.001750	42	0	42	36.305038	41	1	40	1	140	140	3	13	644	644	Inviável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 20 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
$T_{91}$	0.000129	5	0	5	2.311019	5	0	5	0	10	10	0	0	46	46	Viável
$T_{92}$	0.000087	2	0	2	2.821167	2	0	2	0	15	15	0	0	67	67	Viável
$T_{93}$	0.000102	3	0	3	3.683727	3	0	3	0	20	20	0	0	92	92	Viável
$T_{94}$	0.000191	9	0	9	6.444602	9	0	9	0	25	25	0	0	113	113	Viável
$T_{95}$	0.000260	13	0	13	8.339341	13	0	13	0	30	30	0	0	138	138	Viável
$T_{96}$	0.000273	13	0	13	9.582879	12	1	11	1	35	35	3	61	159	159	Inviável
$T_{97}$	0.000282	14	0	14	11.236726	13	1	12	1	40	40	2	108	184	184	Inviável
$T_{98}$	0.000373	19	0	19	14.322608	16	2	14	3	45	45	2	272	205	205	Inviável
$T_{99}$	0.000293	10	0	10	13.919674	10	0	10	0	50	50	0	0	230	230	Viável
$T_{110}$	0.000537	18	0	18	19.028280	17	1	16	1	55	55	1	235	251	251	Inviável
$T_{111}$	0.000325	5	0	5	17.193888	5	0	5	0	60	60	0	0	276	276	Viável
$T_{112}$	0.000536	16	0	16	23.076363	16	0	16	0	65	65	0	0	297	297	Viável
$T_{113}$	0.000427	12	0	12	21.899809	10	1	9	2	70	70	3	23	322	322	Inviável
$T_{114}$	0.000577	15	0	15	26.526333	14	1	13	1	75	75	3	145	343	343	Inviável
$T_{115}$	0.000620	24	0	24	31.294624	23	1	22	1	80	80	2	284	368	368	Inviável
$T_{116}$	0.000529	10	0	10	29.574724	10	0	10	0	85	85	0	0	389	389	Viável
$T_{117}$	0.000751	20	0	20	36.230297	20	0	20	0	90	90	0	0	414	414	Viável
$T_{118}$	0.000771	21	0	21	39.249943	21	0	21	0	95	95	0	0	435	435	Viável
$T_{119}$	0.001291	28	0	28	47.292946	28	0	28	0	100	100	0	0	460	460	Viável
$T_{120}$	0.000808	16	0	16	43.311825	16	0	16	0	105	105	0	0	481	481	Viável
$T_{121}$	0.001690	48	0	48	60.378296	47	1	46	1	110	110	3	104	506	506	Inviável
$T_{122}$	0.001052	29	0	29	54.858250	27	1	26	2	115	115	3	140	527	527	Inviável
$T_{123}$	0.001783	44	0	44	67.434547	41	4	37	3	120	120	0	129	552	552	Inviável
$T_{124}$	0.001780	44	0	44	71.414680	43	4	39	1	125	125	0	56	573	573	Inviável
$T_{125}$	0.001459	41	0	41	71.869469	40	1	39	1	130	130	3	69	598	598	Inviável
$T_{126}$	0.001077	23	0	23	66.366272	21	1	20	1	135	135	3	39	619	619	Inviável
$T_{127}$	0.001857	41	0	41	82.640152	40	2	38	1	140	140	2	123	644	644	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 21 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
$t_{91}$	0.000135	5	0	5	4.168581	4	1	3	1	10	10	3	23	46	46	Inviável
$t_{92}$	0.000075	1	0	1	4.565860	1	0	1	0	15	15	0	0	67	67	Viável
$t_{93}$	0.000125	6	0	6	7.243105	5	1	4	1	20	20	3	262	92	92	Inviável
$t_{94}$	0.000186	9	0	9	10.840095	8	1	7	1	25	25	3	116	113	113	Inviável
$t_{95}$	0.000231	14	0	14	14.522719	12	3	9	1	30	30	1	62	138	138	Inviável
$t_{96}$	0.000286	12	0	12	17.094929	12	0	12	0	35	35	0	0	159	159	Viável
$t_{97}$	0.000196	6	0	6	16.295172	6	0	6	0	40	40	0	0	184	184	Viável
$t_{98}$	0.000275	6	0	6	20.773233	6	0	6	0	45	45	0	0	205	205	Viável
$t_{99}$	0.000358	17	0	17	26.639288	16	2	14	1	50	50	2	275	230	230	Inviável
$t_{110}$	0.000291	7	0	7	26.124315	7	0	7	0	55	55	0	0	251	251	Viável
$t_{111}$	0.000366	9	0	9	32.199150	8	2	6	1	60	60	2	323	276	276	Inviável
$t_{112}$	0.000383	7	0	7	34.093185	6	2	4	1	65	65	2	131	297	297	Inviável
$t_{113}$	0.000332	4	0	4	35.027058	4	0	4	0	70	70	0	0	322	322	Viável
$t_{114}$	0.000640	16	0	16	48.287682	15	2	13	1	75	75	2	214	343	343	Inviável
$t_{115}$	0.000579	20	0	20	51.752781	19	1	18	1	80	80	3	3	368	368	Inviável
$t_{116}$	0.000614	15	0	15	54.018745	14	1	13	1	85	85	3	194	389	389	Inviável
$t_{117}$	0.000636	16	0	16	58.739697	15	1	14	1	90	90	3	17	414	414	Inviável
$t_{118}$	0.000831	21	0	21	70.444679	21	0	21	0	95	95	0	0	435	435	Viável
$t_{119}$	0.000604	13	0	13	65.283966	13	0	13	0	100	100	0	0	460	460	Viável
$t_{120}$	0.001197	30	0	30	85.331802	30	0	30	0	105	105	0	0	481	481	Viável
$t_{121}$	0.001065	32	0	32	94.381706	31	2	29	1	110	110	2	96	506	506	Inviável
$t_{122}$	0.000717	9	0	9	80.247986	9	0	9	0	115	115	0	0	527	527	Viável
$t_{123}$	0.001561	39	0	39	114.317764	35	1	34	4	120	120	3	90	552	552	Inviável
$t_{124}$	0.001675	44	0	44	120.612183	43	1	42	1	125	125	3	75	573	573	Inviável
$t_{125}$	0.002237	53	0	53	135.416794	52	2	50	1	130	130	2	21	598	598	Inviável
$t_{126}$	0.003413	54	0	54	153.699310	53	2	51	1	135	135	2	347	619	619	Inviável
$t_{127}$	0.012477	59	0	59	163.704224	58	1	57	1	140	140	3	62	644	644	Inviável

Fonte: Próprio autor.

**APÊNDICE E - RESULTADOS DA CLASSE 5**

Tabela 22 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>128</sub>	0.000535	19	0	19	1.362371	18	1	17	1	30	30	2	65	123	123	Inviável
T <sub>129</sub>	0.000253	12	0	12	1.248964	12	0	12	0	40	40	0	0	164	164	Viável
T <sub>130</sub>	0.000354	14	0	14	1.738698	14	0	14	0	50	50	0	0	205	205	Viável
T <sub>131</sub>	0.000492	19	0	19	2.479058	18	1	17	1	60	60	3	36	246	246	Inviável
T <sub>132</sub>	0.000682	26	0	26	3.054396	25	1	24	1	70	70	3	53	287	287	Inviável
T <sub>133</sub>	0.000395	7	0	7	2.958900	7	0	7	0	80	80	0	0	328	328	Viável
T <sub>134</sub>	0.000644	14	0	14	3.888767	14	0	14	0	90	90	0	0	369	369	Viável
T <sub>135</sub>	0.000885	26	0	26	5.021974	25	1	24	1	100	100	3	3	410	410	Inviável
T <sub>136</sub>	0.000846	24	0	24	5.696308	23	1	22	1	110	110	2	66	451	451	Inviável
T <sub>137</sub>	0.000931	18	0	18	6.187643	17	3	14	1	120	120	1	51	492	492	Inviável
T <sub>138</sub>	0.000837	16	0	16	6.937486	15	1	14	1	130	130	3	97	533	533	Inviável
T <sub>139</sub>	0.001092	19	0	19	7.933256	19	0	19	0	140	140	0	0	574	574	Viável
T <sub>140</sub>	0.001959	42	0	42	10.392345	41	1	40	1	150	150	3	96	615	615	Inviável
T <sub>141</sub>	0.011136	54	0	54	11.988806	54	0	54	0	160	160	0	0	656	656	Viável
T <sub>142</sub>	0.001524	32	0	32	11.072267	32	0	32	0	170	170	0	0	697	697	Viável
T <sub>143</sub>	0.001788	31	0	31	12.264361	30	1	29	1	180	180	3	8	738	738	Inviável
T <sub>144</sub>	0.002720	51	0	51	15.725472	50	2	48	1	190	190	2	58	779	779	Inviável
T <sub>145</sub>	0.029345	66	0	66	18.537588	65	1	64	1	200	200	3	63	820	820	Inviável
T <sub>146</sub>	0.002927	41	0	41	17.714792	41	0	41	0	210	210	0	0	861	861	Viável
T <sub>147</sub>	0.047925	54	0	54	19.905355	53	1	52	1	220	220	3	82	902	902	Inviável
T <sub>148</sub>	0.002134	38	0	38	17.746912	38	0	38	0	230	230	0	0	943	943	Viável
T <sub>149</sub>	0.004331	63	0	63	22.667072	63	0	63	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 23 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância T	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPQPT	QPQPD	Solução
T <sub>128</sub>	0.000583	16	0	16	4.625579	15	1	14	1	30	30	3	44	123	123	Inviável
T <sub>129</sub>	0.000286	15	0	15	5.116896	14	2	12	1	40	40	2	108	164	164	Inviável
T <sub>130</sub>	0.000229	8	0	8	6.317155	6	1	5	2	50	50	3	112	205	205	Inviável
T <sub>131</sub>	0.000367	14	0	14	8.510750	13	1	12	1	60	60	3	78	246	246	Inviável
T <sub>132</sub>	0.000413	12	0	12	10.136420	11	1	10	1	70	70	3	20	287	287	Inviável
T <sub>133</sub>	0.000592	21	0	21	13.461862	20	1	19	1	80	80	3	115	328	328	Inviável
T <sub>134</sub>	0.000569	13	0	13	14.868913	12	1	11	1	90	90	3	8	369	369	Inviável
T <sub>135</sub>	0.000758	20	0	20	17.942385	20	0	20	0	100	100	0	0	410	410	Viável
T <sub>136</sub>	0.001439	39	0	39	26.738468	38	3	35	1	110	110	1	129	451	451	Inviável
T <sub>137</sub>	0.000822	22	0	22	23.862009	22	0	22	0	120	120	0	0	492	492	Viável
T <sub>138</sub>	0.002102	38	0	38	32.710876	38	0	38	0	130	130	0	0	533	533	Viável
T <sub>139</sub>	0.001767	43	0	43	36.535168	43	0	43	0	140	140	0	0	574	574	Viável
T <sub>140</sub>	0.001416	29	0	29	35.974224	29	0	29	0	150	150	0	0	615	615	Viável
T <sub>141</sub>	0.001533	28	0	28	40.678532	28	0	28	0	160	160	0	0	656	656	Viável
T <sub>142</sub>	0.001509	29	0	29	43.687519	28	1	27	1	170	170	3	33	697	697	Inviável
T <sub>143</sub>	0.004178	67	0	67	60.574635	66	1	65	1	180	180	3	192	738	738	Inviável
T <sub>144</sub>	0.002510	49	0	49	60.850784	48	1	47	1	190	190	2	135	779	779	Inviável
T <sub>145</sub>	0.002190	39	0	39	60.179825	38	1	37	1	200	200	3	142	820	820	Inviável
T <sub>146</sub>	0.012961	59	0	59	74.183907	58	1	57	1	210	210	3	17	861	861	Inviável
T <sub>147</sub>	0.001877	24	0	24	64.467567	24	0	24	0	220	220	0	0	902	902	Viável
T <sub>148</sub>	0.005284	79	0	79	86.009048	78	1	77	1	230	230	3	100	943	943	Inviável
T <sub>149</sub>	0.002556	38	0	38	81.460571	38	0	38	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 24 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>128</sub>	0.001253	27	0	27	13.009991	25	4	21	2	30	30	0	195	123	123	Inviável
T <sub>129</sub>	0.000259	8	0	8	10.826117	7	1	6	1	40	40	3	235	164	164	Inviável
T <sub>130</sub>	0.000299	10	0	10	14.050907	9	1	8	1	50	50	3	109	205	205	Inviável
T <sub>131</sub>	0.000712	24	0	24	23.500963	22	2	20	2	60	60	1	256	246	246	Inviável
T <sub>132</sub>	0.000334	6	0	6	20.856606	6	0	6	0	70	70	0	0	287	287	Viável
T <sub>133</sub>	0.000732	26	0	26	31.436636	25	1	24	1	80	80	3	143	328	328	Inviável
T <sub>134</sub>	0.000987	34	0	34	40.013855	33	1	32	1	90	90	3	162	369	369	Inviável
T <sub>135</sub>	0.001110	33	0	33	46.107765	32	2	30	1	100	100	2	148	410	410	Inviável
T <sub>136</sub>	0.000881	21	0	21	47.678055	21	0	21	0	110	110	0	0	451	451	Viável
T <sub>137</sub>	0.000603	5	0	5	44.725407	5	0	5	0	120	120	0	0	492	492	Viável
T <sub>138</sub>	0.001782	44	0	44	77.221489	43	1	42	1	130	130	3	122	533	533	Inviável
T <sub>139</sub>	0.001321	31	0	31	72.585899	30	3	27	1	140	140	1	100	574	574	Inviável
T <sub>140</sub>	0.002010	40	0	40	89.539963	38	2	36	2	150	150	2	20	615	615	Viável
T <sub>141</sub>	0.003332	57	0	57	108.065041	56	1	55	1	160	160	3	45	656	656	Inviável
T <sub>142</sub>	0.003023	53	0	53	114.372871	52	1	51	1	170	170	2	195	697	697	Inviável
T <sub>143</sub>	0.008232	69	0	69	135.448349	68	1	67	1	180	180	3	105	738	738	Inviável
T <sub>144</sub>	0.001698	32	0	32	117.865593	31	1	30	1	190	190	3	170	779	779	Inviável
T <sub>145</sub>	0.004041	56	0	56	152.880371	55	1	54	1	200	200	3	69	820	820	Inviável
T <sub>146</sub>	0.058455	69	0	69	174.356628	67	4	63	1	210	210	0	19	861	861	Inviável
T <sub>147</sub>	0.003311	64	0	64	176.424789	63	1	62	1	220	220	3	72	902	902	Inviável
T <sub>148</sub>	0.003246	56	0	56	176.697021	55	4	51	1	230	230	0	242	943	943	Inviável
T <sub>149</sub>	0.003496	63	0	63	198.663254	63	0	63	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 25 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>128</sub>	0.001426	28	0	28	22.792755	26	2	24	2	30	30	1	4	123	123	Inviável
T <sub>129</sub>	0.000243	9	0	9	18.806871	9	0	9	0	40	40	0	0	164	164	Viável
T <sub>130</sub>	0.000329	10	0	10	26.094496	10	0	10	0	50	50	0	0	205	205	Viável
T <sub>131</sub>	0.000486	15	0	15	36.997334	13	2	11	2	60	60	2	30	246	246	Inviável
T <sub>132</sub>	0.000438	10	0	10	42.875580	9	1	8	1	70	70	2	310	287	287	Inviável
T <sub>133</sub>	0.000743	24	0	24	59.475792	23	2	21	1	80	80	2	291	328	328	Inviável
T <sub>134</sub>	0.001255	29	0	29	78.286156	28	1	27	1	90	90	2	94	369	369	Inviável
T <sub>135</sub>	0.001056	25	0	25	83.741043	24	1	23	1	100	100	1	6	410	410	Inviável
T <sub>136</sub>	0.000841	19	0	19	85.609924	19	0	19	0	110	110	0	0	451	451	Viável
T <sub>137</sub>	0.000672	5	0	5	84.284988	4	1	3	1	120	120	3	12	492	492	Inviável
T <sub>138</sub>	0.001804	39	0	39	137.694717	38	1	37	1	130	130	2	366	533	533	Inviável
T <sub>139</sub>	0.001520	31	0	31	145.424835	30	1	29	1	140	140	3	160	574	574	Inviável
T <sub>140</sub>	0.001592	32	0	32	152.756744	31	1	30	1	150	150	3	63	615	615	Inviável
T <sub>141</sub>	0.002289	38	0	38	189.881729	37	1	36	1	160	160	3	382	656	656	Inviável
T <sub>142</sub>	0.003071	55	0	55	216.660736	54	1	53	1	170	170	2	18	697	697	Inviável
T <sub>143</sub>	0.003474	59	0	59	235.531021	58	1	57	1	180	180	3	48	738	738	Inviável
T <sub>144</sub>	0.028859	57	0	57	254.345139	56	3	53	1	190	190	1	59	779	779	Inviável
T <sub>145</sub>	0.002072	29	0	29	242.524323	27	2	25	2	200	200	1	63	820	820	Inviável
T <sub>146</sub>	0.003580	50	0	50	287.886963	49	1	48	1	210	210	3	74	861	861	Inviável
T <sub>147</sub>	0.002657	42	0	42	286.970612	41	1	40	1	220	220	3	320	902	902	Inviável
T <sub>148</sub>	0.003790	54	0	54	337.872253	54	0	54	0	230	230	0	0	943	943	Viável
T <sub>149</sub>	0.003304	54	0	54	355.263702	53	1	52	1	240	240	3	89	984	984	Inviável

Fonte: Próprio autor.

**APÊNDICE F – RESULTADOS DA CLASSE 6**

Tabela 26 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPPD	Solução
T <sub>150</sub>	0.001253	27	0	27	13.009991	25	4	21	2	30	30	0	195	123	123	Inviável
T <sub>151</sub>	0.000259	8	0	8	10.826117	7	1	6	1	40	40	3	235	164	164	Inviável
T <sub>152</sub>	0.000299	10	0	10	14.050907	9	1	8	1	50	50	3	109	205	205	Inviável
T <sub>153</sub>	0.000712	24	0	24	23.500963	22	2	20	2	60	60	1	256	246	246	Inviável
T <sub>154</sub>	0.000334	6	0	6	20.856606	6	0	6	0	70	70	0	0	287	287	Viável
T <sub>155</sub>	0.000732	26	0	26	31.436636	25	1	24	1	80	80	3	143	328	328	Inviável
T <sub>156</sub>	0.000987	34	0	34	40.013855	33	1	32	1	90	90	3	162	369	369	Inviável
T <sub>157</sub>	0.001110	33	0	33	46.107765	32	2	30	1	100	100	2	148	410	410	Inviável
T <sub>158</sub>	0.000881	21	0	21	47.678055	21	0	21	0	110	110	0	0	451	451	Viável
T <sub>159</sub>	0.000603	5	0	5	44.725407	5	0	5	0	120	120	0	0	492	492	Viável
T <sub>160</sub>	0.001782	44	0	44	77.221489	43	1	42	1	130	130	3	122	533	533	Inviável
T <sub>161</sub>	0.001321	31	0	31	72.585899	30	3	27	1	140	140	1	100	574	574	Inviável
T <sub>162</sub>	0.002010	40	0	40	89.539963	38	2	36	2	150	150	2	20	615	615	Viável
T <sub>163</sub>	0.003332	57	0	57	108.065041	56	1	55	1	160	160	3	45	656	656	Inviável
T <sub>164</sub>	0.003023	53	0	53	114.372871	52	1	51	1	170	170	2	195	697	697	Inviável
T <sub>165</sub>	0.008232	69	0	69	135.448349	68	1	67	1	180	180	3	105	738	738	Inviável
T <sub>166</sub>	0.001698	32	0	32	117.865593	31	1	30	1	190	190	3	170	779	779	Inviável
T <sub>167</sub>	0.004041	56	0	56	152.880371	55	1	54	1	200	200	3	69	820	820	Inviável
T <sub>168</sub>	0.058455	69	0	69	174.356628	67	4	63	1	210	210	0	19	861	861	Inviável
T <sub>169</sub>	0.003311	64	0	64	176.424789	63	1	62	1	220	220	3	72	902	902	Inviável
T <sub>170</sub>	0.003246	56	0	56	176.697021	55	4	51	1	230	230	0	242	943	943	Inviável
T <sub>171</sub>	0.003496	63	0	63	198.663254	63	0	63	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 27 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>150</sub>	0.000583	16	0	16	4.625579	15	1	14	1	30	30	3	44	123	123	Inviável
T <sub>151</sub>	0.000286	15	0	15	5.116896	14	2	12	1	40	40	2	108	164	164	Inviável
T <sub>152</sub>	0.000229	8	0	8	6.317155	6	1	5	2	50	50	3	112	205	205	Inviável
T <sub>153</sub>	0.000367	14	0	14	8.510750	13	1	12	1	60	60	3	78	246	246	Inviável
T <sub>154</sub>	0.000413	12	0	12	10.136420	11	1	10	1	70	70	3	20	287	287	Inviável
T <sub>155</sub>	0.000592	21	0	21	13.461862	20	1	19	1	80	80	3	115	328	328	Inviável
T <sub>156</sub>	0.000569	13	0	13	14.868913	12	1	11	1	90	90	3	8	369	369	Inviável
T <sub>157</sub>	0.000758	20	0	20	17.942385	20	0	20	0	100	100	0	0	410	410	Viável
T <sub>158</sub>	0.001439	39	0	39	26.738468	38	3	35	1	110	110	1	129	451	451	Inviável
T <sub>159</sub>	0.000822	22	0	22	23.862009	22	0	22	0	120	120	0	0	492	492	Viável
T <sub>160</sub>	0.002102	38	0	38	32.710876	38	0	38	0	130	130	0	0	533	533	Viável
T <sub>161</sub>	0.001767	43	0	43	36.535168	43	0	43	0	140	140	0	0	574	574	Viável
T <sub>162</sub>	0.001416	29	0	29	35.974224	29	0	29	0	150	150	0	0	615	615	Viável
T <sub>163</sub>	0.001533	28	0	28	40.678532	28	0	28	0	160	160	0	0	656	656	Viável
T <sub>164</sub>	0.001509	29	0	29	43.687519	28	1	27	1	170	170	3	33	697	697	Inviável
T <sub>165</sub>	0.004178	67	0	67	60.574635	66	1	65	1	180	180	3	192	738	738	Inviável
T <sub>166</sub>	0.002510	49	0	49	60.850784	48	1	47	1	190	190	2	135	779	779	Inviável
T <sub>167</sub>	0.002190	39	0	39	60.179825	38	1	37	1	200	200	3	142	820	820	Inviável
T <sub>168</sub>	0.012961	59	0	59	74.183907	58	1	57	1	210	210	3	17	861	861	Inviável
T <sub>169</sub>	0.001877	24	0	24	64.467567	24	0	24	0	220	220	0	0	902	902	Viável
T <sub>170</sub>	0.005284	79	0	79	86.009048	78	1	77	1	230	230	3	100	943	943	Inviável
T <sub>171</sub>	0.002556	38	0	38	81.460571	38	0	38	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 28 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQP	Solução
T <sub>150</sub>	0.001253	27	0	27	13.009991	25	4	21	2	30	30	0	195	123	123	Inviável
T <sub>151</sub>	0.000259	8	0	8	10.826117	7	1	6	1	40	40	3	235	164	164	Inviável
T <sub>152</sub>	0.000299	10	0	10	14.050907	9	1	8	1	50	50	3	109	205	205	Inviável
T <sub>153</sub>	0.000712	24	0	24	23.500963	22	2	20	2	60	60	1	256	246	246	Inviável
T <sub>154</sub>	0.000334	6	0	6	20.856606	6	0	6	0	70	70	0	0	287	287	Viável
T <sub>155</sub>	0.000732	26	0	26	31.436636	25	1	24	1	80	80	3	143	328	328	Inviável
T <sub>156</sub>	0.000987	34	0	34	40.013855	33	1	32	1	90	90	3	162	369	369	Inviável
T <sub>157</sub>	0.001110	33	0	33	46.107765	32	2	30	1	100	100	2	148	410	410	Inviável
T <sub>158</sub>	0.000881	21	0	21	47.678055	21	0	21	0	110	110	0	0	451	451	Viável
T <sub>159</sub>	0.000603	5	0	5	44.725407	5	0	5	0	120	120	0	0	492	492	Viável
T <sub>160</sub>	0.001782	44	0	44	77.221489	43	1	42	1	130	130	3	122	533	533	Inviável
T <sub>161</sub>	0.001321	31	0	31	72.585899	30	3	27	1	140	140	1	100	574	574	Inviável
T <sub>162</sub>	0.002010	40	0	40	89.539963	38	2	36	2	150	150	2	20	615	615	Viável
T <sub>163</sub>	0.003332	57	0	57	108.065041	56	1	55	1	160	160	3	45	656	656	Inviável
T <sub>164</sub>	0.003023	53	0	53	114.372871	52	1	51	1	170	170	2	195	697	697	Inviável
T <sub>165</sub>	0.008232	69	0	69	135.448349	68	1	67	1	180	180	3	105	738	738	Inviável
T <sub>166</sub>	0.001698	32	0	32	117.865593	31	1	30	1	190	190	3	170	779	779	Inviável
T <sub>167</sub>	0.004041	56	0	56	152.880371	55	1	54	1	200	200	3	69	820	820	Inviável
T <sub>168</sub>	0.058455	69	0	69	174.356628	67	4	63	1	210	210	0	19	861	861	Inviável
T <sub>169</sub>	0.003311	64	0	64	176.424789	63	1	62	1	220	220	3	72	902	902	Inviável
T <sub>170</sub>	0.003246	56	0	56	176.697021	55	4	51	1	230	230	0	242	943	943	Inviável
T <sub>171</sub>	0.003496	63	0	63	198.663254	63	0	63	0	240	240	0	0	984	984	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 29 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>150</sub>	0.001426	28	0	28	22.792755	26	2	24	2	30	30	1	4	123	123	Inviável
T <sub>151</sub>	0.000243	9	0	9	18.806871	9	0	9	0	40	40	0	0	164	164	Viável
T <sub>152</sub>	0.000329	10	0	10	26.094496	10	0	10	0	50	50	0	0	205	205	Viável
T <sub>153</sub>	0.000486	15	0	15	36.997334	13	2	11	2	60	60	2	30	246	246	Inviável
T <sub>154</sub>	0.000438	10	0	10	42.875580	9	1	8	1	70	70	2	310	287	287	Inviável
T <sub>155</sub>	0.000743	24	0	24	59.475792	23	2	21	1	80	80	2	291	328	328	Inviável
T <sub>156</sub>	0.001255	29	0	29	78.286156	28	1	27	1	90	90	2	94	369	369	Inviável
T <sub>157</sub>	0.001056	25	0	25	83.741043	24	1	23	1	100	100	1	6	410	410	Inviável
T <sub>158</sub>	0.000841	19	0	19	85.609924	19	0	19	0	110	110	0	0	451	451	Viável
T <sub>159</sub>	0.000672	5	0	5	84.284988	4	1	3	1	120	120	3	12	492	492	Inviável
T <sub>160</sub>	0.001804	39	0	39	137.694717	38	1	37	1	130	130	2	366	533	533	Inviável
T <sub>161</sub>	0.001520	31	0	31	145.424835	30	1	29	1	140	140	3	160	574	574	Inviável
T <sub>162</sub>	0.001592	32	0	32	152.756744	31	1	30	1	150	150	3	63	615	615	Inviável
T <sub>163</sub>	0.002289	38	0	38	189.881729	37	1	36	1	160	160	3	382	656	656	Inviável
T <sub>164</sub>	0.003071	55	0	55	216.660736	54	1	53	1	170	170	2	18	697	697	Inviável
T <sub>165</sub>	0.003474	59	0	59	235.531021	58	1	57	1	180	180	3	48	738	738	Inviável
T <sub>166</sub>	0.028859	57	0	57	254.345139	56	3	53	1	190	190	1	59	779	779	Inviável
T <sub>167</sub>	0.002072	29	0	29	242.524323	27	2	25	2	200	200	1	63	820	820	Inviável
T <sub>168</sub>	0.003580	50	0	50	287.886963	49	1	48	1	210	210	3	74	861	861	Inviável
T <sub>169</sub>	0.002657	42	0	42	286.970612	41	1	40	1	220	220	3	320	902	902	Inviável
T <sub>170</sub>	0.003790	54	0	54	337.872253	54	0	54	0	230	230	0	0	943	943	Viável
T <sub>171</sub>	0.003304	54	0	54	355.263702	53	1	52	1	240	240	3	89	984	984	Inviável

Fonte: Próprio autor.

**APÊNDICE G – RESULTADOS DA CLASSE 7**

Tabela 30 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 100.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPTI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>172</sub>	0.000751	26	0	26	1.237054	25	2	23	1	30	30	2	6	141	141	Inviável
T <sub>173</sub>	0.000248	12	0	12	1.457946	10	1	9	2	40	40	2	33	188	188	Inviável
T <sub>174</sub>	0.000312	9	0	9	1.700140	8	1	7	1	50	50	3	97	235	235	Inviável
T <sub>175</sub>	0.000328	11	0	11	2.035404	11	0	11	0	60	60	0	0	282	282	Viável
T <sub>176</sub>	0.000614	19	0	19	3.059500	18	1	17	1	70	70	3	13	329	329	Inviável
T <sub>177</sub>	0.000988	21	0	21	4.015689	21	0	21	0	80	80	0	0	376	376	Viável
T <sub>178</sub>	0.000669	16	0	16	3.889980	16	0	16	0	90	90	0	0	423	423	Viável
T <sub>179</sub>	0.000748	17	0	17	4.587521	17	0	17	0	100	100	0	0	470	470	Viável
T <sub>180</sub>	0.001402	38	0	38	6.647142	38	0	38	0	110	110	0	0	517	517	Viável
T <sub>181</sub>	0.000839	22	0	22	5.959334	22	0	22	0	120	120	0	0	564	564	Viável
T <sub>182</sub>	0.001321	30	0	30	7.551250	29	1	28	1	130	130	3	48	611	611	Inviável
T <sub>183</sub>	0.001689	45	0	45	9.491059	43	2	41	2	140	140	2	88	658	658	Inviável
T <sub>184</sub>	0.001994	46	0	46	10.306676	46	0	46	0	150	150	0	0	705	705	Viável
T <sub>185</sub>	0.135749	80	0	80	15.250009	80	0	80	0	160	160	0	0	752	752	Viável
T <sub>186</sub>	0.002844	66	0	66	14.350928	66	0	66	0	170	170	0	0	799	799	Viável
T <sub>187</sub>	0.001639	38	0	38	12.507718	37	3	34	1	180	180	1	11	846	846	Inviável
T <sub>188</sub>	0.019180	68	0	68	15.635730	67	3	64	1	190	190	1	80	893	893	Inviável
T <sub>189</sub>	0.002935	49	0	49	16.273911	49	0	49	0	200	200	0	0	940	940	Viável
T <sub>190</sub>	0.117517	88	0	88	21.078819	88	0	88	0	210	210	0	0	987	987	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 31 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 200.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>172</sub>	0.001505	30	0	30	5.482482	28	2	26	1	30	30	1	31	141	141	Viável
T <sub>173</sub>	0.000199	8	0	8	4.409831	7	1	6	1	40	40	3	159	188	188	Inviável
T <sub>174</sub>	0.000472	15	0	15	7.463973	13	1	12	2	50	50	2	74	235	235	Inviável
T <sub>175</sub>	0.000277	4	0	4	7.329847	4	0	4	0	60	60	0	0	282	282	Viável
T <sub>176</sub>	0.000644	20	0	20	11.147188	19	1	18	1	70	70	3	57	329	329	Inviável
T <sub>177</sub>	0.000382	9	0	9	11.311305	9	0	9	0	80	80	0	0	376	376	Viável
T <sub>178</sub>	0.000646	19	0	19	15.892188	18	1	17	1	90	90	3	61	423	423	Inviável
T <sub>179</sub>	0.000590	18	0	18	17.600378	17	1	16	1	100	100	3	56	470	470	Inviável
T <sub>180</sub>	0.001076	37	0	37	24.207760	36	2	34	1	110	110	2	145	517	517	Viável
T <sub>181</sub>	0.000602	2	0	2	19.858404	2	0	2	0	120	120	0	0	564	564	Viável
T <sub>182</sub>	0.001497	42	0	42	31.789812	42	0	42	0	130	130	0	0	611	611	Viável
T <sub>183</sub>	0.001069	26	0	26	31.921757	25	2	23	1	140	140	2	71	658	658	Inviável
T <sub>184</sub>	0.004371	62	0	62	44.494877	61	1	60	1	150	150	3	33	705	705	Inviável
T <sub>185</sub>	0.003094	56	0	56	49.027580	55	1	54	1	160	160	2	193	752	752	Inviável
T <sub>186</sub>	0.003295	63	0	63	52.290424	63	0	63	0	170	170	0	0	799	799	Viável
T <sub>187</sub>	0.001939	41	0	41	52.861839	40	1	39	1	180	180	3	194	846	846	Inviável
T <sub>188</sub>	0.014646	69	0	69	68.243874	67	2	65	2	190	190	2	53	893	893	Inviável
T <sub>189</sub>	0.004989	74	0	74	72.332985	73	2	71	1	200	200	2	21	940	940	Inviável
T <sub>190</sub>	0.002194	39	0	39	62.531212	39	0	39	0	210	210	0	0	987	987	Viável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 32 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 300.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQPD	Solução
T <sub>172</sub>	0.001502	24	0	24	11.085906	23	1	22	1	30	30	3	97	141	141	Inviável
T <sub>173</sub>	0.000275	10	0	10	10.841891	10	0	10	0	40	40	0	0	188	188	Viável
T <sub>174</sub>	0.000228	8	0	8	13.101917	7	1	6	1	50	50	3	8	235	235	Inviável
T <sub>175</sub>	0.000367	13	0	13	17.943220	12	1	11	1	60	60	3	88	282	282	Inviável
T <sub>176</sub>	0.000498	16	0	16	23.927437	14	1	13	2	70	70	3	34	329	329	Inviável
T <sub>177</sub>	0.000583	20	0	20	30.205921	19	1	18	1	80	80	3	108	376	376	Inviável
T <sub>178</sub>	0.001032	22	0	22	37.939213	22	0	22	0	90	90	0	0	423	423	Viável
T <sub>179</sub>	0.000656	19	0	19	40.419998	17	1	16	2	100	100	3	270	470	470	Inviável
T <sub>180</sub>	0.001025	23	0	23	48.714844	22	1	21	1	110	110	3	76	517	517	Inviável
T <sub>181</sub>	0.001129	24	0	24	55.334000	23	1	22	1	120	120	3	120	564	564	Inviável
T <sub>182</sub>	0.002314	45	0	45	76.023064	44	1	43	1	130	130	3	27	611	611	Inviável
T <sub>183</sub>	0.001242	36	0	36	75.658943	33	4	29	2	140	140	0	268	658	658	Inviável
T <sub>184</sub>	0.004105	70	0	70	106.764198	69	1	68	1	150	150	3	48	705	705	Inviável
T <sub>185</sub>	0.003259	54	0	54	106.350037	54	0	54	0	160	160	0	0	752	752	Viável
T <sub>186</sub>	0.001668	24	0	24	99.860527	24	0	24	0	170	170	0	0	799	799	Viável
T <sub>187</sub>	0.003243	62	0	62	128.091278	61	1	60	1	180	180	3	32	846	846	Inviável
T <sub>188</sub>	0.004140	65	0	65	142.928345	63	2	61	2	190	190	2	2	893	893	Inviável
T <sub>189</sub>	0.004591	73	0	73	154.764877	73	0	73	0	200	200	0	0	940	940	Viável
T <sub>190</sub>	0.002974	66	0	66	152.664398	65	1	64	1	210	210	3	85	987	987	Inviável

Fonte: Próprio autor.

Tabela 33 – Resultados das instâncias aplicadas a heurística com os parâmetros todos iguais a 400.

Instância	TCI	VFOI	QPTI	QPDI	TF	VFOF	QPTF	QPDF	QVMFO	QT	QP	QR	IMS	QPOPT	QPQP	Solução
T <sub>172</sub>	0.001663	22	0	22	20.697828	20	3	17	2	30	30	1	209	141	141	Inviável
T <sub>173</sub>	0.000194	6	0	6	17.056561	5	1	4	1	40	40	3	250	188	188	Inviável
T <sub>174</sub>	0.000533	16	0	16	29.265732	15	1	14	1	50	50	3	176	235	235	Inviável
T <sub>175</sub>	0.000568	17	0	17	36.657810	16	1	15	1	60	60	3	62	282	282	Inviável
T <sub>176</sub>	0.000577	23	0	23	45.492680	22	1	21	1	70	70	2	107	329	329	Inviável
T <sub>177</sub>	0.000542	13	0	13	49.913151	12	1	11	1	80	80	3	151	376	376	Inviável
T <sub>178</sub>	0.000503	15	0	15	57.329361	14	1	13	1	90	90	3	377	423	423	Inviável
T <sub>179</sub>	0.001292	28	0	28	82.218597	26	2	24	2	100	100	1	288	470	470	Inviável
T <sub>180</sub>	0.000813	15	0	15	82.033730	14	1	13	1	110	110	3	215	517	517	Inviável
T <sub>181</sub>	0.001180	38	0	38	104.503250	36	1	35	2	120	120	3	218	564	564	Inviável
T <sub>182</sub>	0.001990	33	0	33	125.553650	32	2	30	1	130	130	2	148	611	611	Inviável
T <sub>183</sub>	0.001676	37	0	37	140.167023	36	1	35	1	140	140	3	89	658	658	Inviável
T <sub>184</sub>	0.001239	29	0	29	137.691895	27	2	25	2	150	150	2	25	705	705	Inviável
T <sub>185</sub>	0.001667	29	0	29	162.434875	28	1	27	1	160	160	3	22	752	752	Inviável
T <sub>186</sub>	0.001953	32	0	32	177.451141	31	1	30	1	170	170	3	387	799	799	Inviável
T <sub>187</sub>	0.023722	75	0	75	242.600067	74	1	73	1	180	180	3	146	846	846	Inviável
T <sub>188</sub>	0.002898	55	0	55	232.051727	55	0	55	0	190	190	0	0	893	893	Viável
T <sub>189</sub>	0.014751	75	0	75	273.042633	74	3	71	1	200	200	1	343	940	940	Inviável
T <sub>190</sub>	0.003380	64	0	64	287.146851	63	2	61	1	210	210	2	20	987	987	Inviável

Fonte: Próprio autor.

**APÊNDICE H – TAXA DE ERRO DA BUSCA TABU NA RELAÇÃO  
PROFESSOR-TURMA**

Tabela 34 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 1.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>1</sub>	35	0%	0%	0%	0%
T <sub>2</sub>	35	0%	0%	0%	0%
T <sub>3</sub>	47	2.127%	0%	0%	0%
T <sub>4</sub>	49	0%	0%	0%	0%
T <sub>5</sub>	55	0%	0%	0%	0%
T <sub>6</sub>	83	0%	0%	0%	0%
T <sub>7</sub>	83	0%	0%	0%	0%
T <sub>8</sub>	89	0%	1.123%	0%	0%
T <sub>9</sub>	91	1.098%	0%	0%	0%
T <sub>10</sub>	103	0%	0%	0.970%	0.970%
T <sub>11</sub>	118	0%	0%	0%	0%
T <sub>12</sub>	118	0%	0%	0%	0%
T <sub>13</sub>	130	0%	0%	0%	0.769%
T <sub>14</sub>	132	0%	0%	0%	0%
T <sub>15</sub>	138	0%	1.449%	0%	0%
T <sub>16</sub>	166	0%	0%	0%	0%
T <sub>17</sub>	166	0.602%	0%	0%	0%
T <sub>18</sub>	172	0%	0%	0%	0%
T <sub>19</sub>	174	0%	0%	0%	0%
T <sub>20</sub>	186	0%	0%	0%	0%
T <sub>21</sub>	201	0.995%	0%	0%	0%
T <sub>22</sub>	201	0%	0%	0%	0%
T <sub>23</sub>	213	0%	0.469%	0%	0.469%
T <sub>24</sub>	215	0%	0%	0%	0.465%
T <sub>25</sub>	221	0%	0%	0%	0.452%
T <sub>26</sub>	249	0%	0%	0.401%	0%
T <sub>27</sub>	249	0%	0%	0%	0%
T <sub>28</sub>	255	0%	0%	0%	0%
T <sub>29</sub>	257	0%	0%	0%	0%
T <sub>30</sub>	269	0%	0%	0%	0.743%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 35 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 2.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>31</sub>	58	1.724137931%	1.724137931%	3.448275862%	3.448275862%
T <sub>32</sub>	78	1.282051282%	0%	2.564102564%	2.564102564%
T <sub>33</sub>	116	0.8620689655%	0.8620689655%	0.8620689655%	0%
T <sub>34</sub>	136	0.7352941176%	0%	1.470588235%	0%
T <sub>35</sub>	174	0.5747126437%	0%	0.5747126437%	0.5747126437%
T <sub>36</sub>	194	0%	1.030927835%	0.5154639175%	0.5154639175%
T <sub>37</sub>	232	0%	0.4310344828%	0.4310344828%	0.4310344828%
T <sub>38</sub>	252	0%	0%	0.7936507937%	0.3968253968%
T <sub>39</sub>	290	0%	0.3448275862%	0%	0%
T <sub>40</sub>	310	0.3225806452%	0.3225806452%	0.6451612903%	0.3225806452%
T <sub>41</sub>	348	0%	0%	0.2873563218%	0%
T <sub>42</sub>	368	0.2717391304%	0.2717391304%	0.2717391304%	0.5434782609%
T <sub>43</sub>	406	0.2463054187%	0.2463054187%	0.2463054187%	0.2463054187%
T <sub>44</sub>	426	0%	0%	0.234741784%	0.234741784%
T <sub>45</sub>	464	0.2155172414%	0.4310344828%	0.2155172414%	0%
T <sub>46</sub>	484	0%	0.2066115702%	0.4132231405%	0%
T <sub>47</sub>	522	0%	0%	0.3831417625%	0.1915708812%
T <sub>48</sub>	542	0.184501845%	0.184501845%	0.184501845%	0.36900369%
T <sub>49</sub>	580	0.3448275862%	0.1724137931%	0%	0%
T <sub>50</sub>	600	0.1666666667%	0.3333333333%	0%	0%
T <sub>51</sub>	638	0%	0%	0.1567398119%	0.1567398119%
T <sub>52</sub>	658	0%	0.1519756839%	0.1519756839%	0.1519756839%
T <sub>53</sub>	696	0%	0.2873563218%	0.1436781609%	0.2873563218%
T <sub>54</sub>	716	0.1396648045%	0.1396648045%	0.2793296089%	0.1396648045%
T <sub>55</sub>	754	0.1326259947%	0.1326259947%	0%	0.1326259947%
T <sub>56</sub>	774	0.2583979328%	0.1291989664%	0.1291989664%	0.2583979328%
T <sub>57</sub>	812	0%	0%	0.3694581281%	0.1231527094%
T <sub>58</sub>	832	0.1201923077%	0%	0.1201923077%	0.2403846154%
T <sub>59</sub>	870	0%	0.1149425287%	0.1149425287%	0.1149425287%
T <sub>60</sub>	890	0%	0%	0.1123595506%	0.1123595506%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 36 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 3.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>61</sub>	22	4.545454545%	0%	0%	0%
T <sub>62</sub>	37	0%	0%	0%	0%
T <sub>63</sub>	43	0%	0%	2.325581395%	2.325581395%
T <sub>64</sub>	49	0%	0%	0%	0%
T <sub>65</sub>	54	0%	0%	0%	0%
T <sub>66</sub>	60	0%	0%	1.666666667%	1.666666667%
T <sub>67</sub>	66	0%	0%	1.515151515%	0%
T <sub>68</sub>	71	2.816901408%	1.408450704%	0%	1.408450704%
T <sub>69</sub>	77	0%	0%	0%	0%
T <sub>70</sub>	83	0%	1.204819277%	0%	0%
T <sub>71</sub>	88	0%	1.136363636%	1.136363636%	0%
T <sub>72</sub>	103	0%	0%	0%	0%
T <sub>73</sub>	109	0%	0%	0%	0.9174311927%
T <sub>74</sub>	115	0.8695652174%	0%	0.8695652174%	0.8695652174%
T <sub>75</sub>	120	1.666666667%	0%	0%	0.8333333333%
T <sub>76</sub>	126	0%	0%	0%	0%
T <sub>77</sub>	132	0%	0.7575757576%	0%	0%
T <sub>78</sub>	137	0%	0%	0%	0.7299270073%
T <sub>79</sub>	143	0.6993006993%	0%	0%	0%
T <sub>80</sub>	149	0%	0%	0%	0%
T <sub>81</sub>	154	0%	0%	0.6493506494%	0%
T <sub>82</sub>	169	0%	0%	0%	0%
T <sub>83</sub>	175	0%	0%	0%	0.5714285714%
T <sub>84</sub>	181	0%	0%	0%	0%
T <sub>85</sub>	186	0%	0.5376344086%	0%	0%
T <sub>86</sub>	192	0.5208333333%	0.5208333333%	0%	0%
T <sub>87</sub>	198	0%	0%	0%	1.515151515%
T <sub>88</sub>	203	0%	0%	0.9852216749%	0.4926108374%
T <sub>89</sub>	209	0%	0%	0%	0%
T <sub>90</sub>	215	0%	0%	0%	0%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 37 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 4.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>91</sub>	46	0%	0%	0%	2.173913043%
T <sub>92</sub>	67	1.492537313%	0%	0%	0%
T <sub>93</sub>	92	0%	0%	0%	1.086956522%
T <sub>94</sub>	113	0%	0.8849557522%	0%	0.8849557522%
T <sub>95</sub>	138	0%	0.7246376812%	0%	2.173913043%
T <sub>96</sub>	159	0%	0%	0.6289308176%	0%
T <sub>97</sub>	184	0%	0.5434782609%	0.5434782609%	0%
T <sub>98</sub>	205	0%	0.487804878%	0.9756097561%	0%
T <sub>99</sub>	230	0.4347826087%	1.304347826%	0%	0.8695652174%
T <sub>110</sub>	251	0.3984063745%	0%	0.3984063745%	0%
T <sub>111</sub>	276	0%	0.3623188406%	0%	0.7246376812%
T <sub>112</sub>	297	0%	0%	0%	0.6734006734%
T <sub>113</sub>	322	0%	0%	0.3105590062%	0%
T <sub>114</sub>	343	0%	0%	0.2915451895%	0.583090379%
T <sub>115</sub>	368	0.5434782609%	0.8152173913%	0.2717391304%	0.2717391304%
T <sub>116</sub>	389	0%	0.2570694087%	0%	0.2570694087%
T <sub>117</sub>	414	0%	0.2415458937%	0%	0.2415458937%
T <sub>118</sub>	435	0%	0.2298850575%	0%	0%
T <sub>119</sub>	460	0%	0.4347826087%	0%	0%
T <sub>120</sub>	481	0%	0.2079002079%	0%	0%
T <sub>121</sub>	506	0%	0.5928853755%	0.1976284585%	0.395256917%
T <sub>122</sub>	527	0%	0.1897533207%	0.1897533207%	0%
T <sub>123</sub>	552	0.3623188406%	0.1811594203%	0.7246376812%	0.1811594203%
T <sub>124</sub>	573	0%	0.3490401396%	0.6980802792%	0.1745200698%
T <sub>125</sub>	598	0%	0.5016722408%	0.1672240803%	0.3344481605%
T <sub>126</sub>	619	0%	0.1615508885%	0.1615508885%	0.3231017771%
T <sub>127</sub>	644	0%	0.1552795031%	0.3105590062%	0.1552795031%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 38 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 5.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>128</sub>	123	0.8130081301%	0.8130081301%	3.25203252%	1.62601626%
T <sub>129</sub>	164	0%	1.219512195%	0.6097560976%	0%
T <sub>130</sub>	205	0%	0.487804878%	0.487804878%	0%
T <sub>131</sub>	246	0.406504065%	0.406504065%	0.8130081301%	0.8130081301%
T <sub>132</sub>	287	0.3484320557%	0.3484320557%	0%	0.3484320557%
T <sub>133</sub>	328	0%	0.3048780488%	0.3048780488%	0.6097560976%
T <sub>134</sub>	369	0%	0.27100271%	0.27100271%	0.27100271%
T <sub>135</sub>	410	0.243902439%	0%	0.487804878%	0.243902439%
T <sub>136</sub>	451	0.22172949%	0.6651884701%	0%	0%
T <sub>137</sub>	492	0.6097560976%	0%	0%	0.2032520325%
T <sub>138</sub>	533	0.1876172608%	0%	0.1876172608%	0.1876172608%
T <sub>139</sub>	574	0%	0%	0.5226480836%	0.1742160279%
T <sub>140</sub>	615	0.162601626%	0%	0.325203252%	0.162601626%
T <sub>141</sub>	656	0%	0%	0.1524390244%	0.1524390244%
T <sub>142</sub>	697	0%	0.143472023%	0.143472023%	0.143472023%
T <sub>143</sub>	738	0.135501355%	0.135501355%	0.135501355%	0.135501355%
T <sub>144</sub>	779	0.2567394095%	0.1283697047%	0.1283697047%	0.3851091142%
T <sub>145</sub>	820	0.1219512195%	0.1219512195%	0.1219512195%	0.243902439%
T <sub>146</sub>	861	0%	0.1161440186%	0.4645760743%	0.1161440186%
T <sub>147</sub>	902	0.110864745%	0%	0.110864745%	0.110864745%
T <sub>148</sub>	943	0%	0.1060445387%	0.4241781548%	0%
T <sub>149</sub>	984	0%	0%	0%	0.1016260163%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 39 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 6.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>150</sub>	123	0.8130081301%	0.8130081301%	3.25203252%	1.62601626%
T <sub>151</sub>	164	0%	1.219512195%	0.6097560976%	0%
T <sub>152</sub>	205	0%	0.487804878%	0.487804878%	0%
T <sub>153</sub>	246	0.406504065%	0.406504065%	0.8130081301%	0.8130081301%
T <sub>154</sub>	287	0.3484320557%	0.3484320557%	0%	0.3484320557%
T <sub>155</sub>	328	0%	0.3048780488%	0.3048780488%	0.6097560976%
T <sub>156</sub>	369	0%	0.27100271%	0.27100271%	0.27100271%
T <sub>157</sub>	410	0.243902439%	0%	0.487804878%	0.243902439%
T <sub>158</sub>	451	0.22172949%	0.6651884701%	0%	0%
T <sub>159</sub>	492	0.6097560976%	0%	0%	0.2032520325%
T <sub>160</sub>	533	0.1876172608%	0%	0.1876172608%	0.1876172608%
T <sub>161</sub>	574	0%	0%	0.5226480836%	0.1742160279%
T <sub>162</sub>	615	0.162601626%	0%	0.325203252%	0.162601626%
T <sub>163</sub>	656	0%	0%	0.1524390244%	0.1524390244%
T <sub>164</sub>	697	0%	0.143472023%	0.143472023%	0.143472023%
T <sub>165</sub>	738	0.135501355%	0.135501355%	0.135501355%	0.135501355%
T <sub>166</sub>	779	0.2567394095%	0.1283697047%	0.1283697047%	0.3851091142%
T <sub>167</sub>	820	0.1219512195%	0.1219512195%	0.1219512195%	0.243902439%
T <sub>168</sub>	861	0%	0.1161440186%	0.4645760743%	0.1161440186%
T <sub>169</sub>	902	0.110864745%	0%	0.110864745%	0.110864745%
T <sub>170</sub>	943	0%	0.1060445387%	0.4241781548%	0%
T <sub>171</sub>	984	0%	0%	0%	0.1016260163%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 40 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-turma na classe 7.

Instância	QPQPT	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
<i>T</i> <sub>172</sub>	141	21.27659574%	1.418439716%	0.7092198582%	2.127659574%
<i>T</i> <sub>173</sub>	188	21.27659574%	0.5319148936%	0%	0.5319148936%
<i>T</i> <sub>174</sub>	235	21.27659574%	0.4255319149%	0.4255319149%	0.4255319149%
<i>T</i> <sub>175</sub>	282	21.27659574%	0%	0.3546099291%	0.3546099291%
<i>T</i> <sub>176</sub>	329	21.27659574%	0.3039513678%	0.3039513678%	0.3039513678%
<i>T</i> <sub>177</sub>	376	21.27659574%	0%	0.2659574468%	0.2659574468%
<i>T</i> <sub>178</sub>	423	21.27659574%	0.2364066194%	0%	0.2364066194%
<i>T</i> <sub>179</sub>	470	21.27659574%	0.2127659574%	0.2127659574%	0.4255319149%
<i>T</i> <sub>180</sub>	517	21.27659574%	0.3868471954%	0.1934235977%	0.1934235977%
<i>T</i> <sub>181</sub>	564	21.27659574%	0%	0.1773049645%	0.1773049645%
<i>T</i> <sub>182</sub>	611	21.27659574%	0%	0.1636661211%	0.3273322422%
<i>T</i> <sub>183</sub>	658	21.27659574%	0.3039513678%	0.6079027356%	0.1519756839%
<i>T</i> <sub>184</sub>	705	21.27659574%	0.1418439716%	0.1418439716%	0.2836879433%
<i>T</i> <sub>185</sub>	752	21.27659574%	0.1329787234%	0%	0.1329787234%
<i>T</i> <sub>186</sub>	799	21.27659574%	0%	0%	0.1251564456%
<i>T</i> <sub>187</sub>	846	21.27659574%	0.1182033097%	0.1182033097%	0.1182033097%
<i>T</i> <sub>188</sub>	893	21.27659574%	0.2239641657%	0.2239641657%	0%
<i>T</i> <sub>189</sub>	940	21.27659574%	0.2127659574%	0%	0.3191489362%
<i>T</i> <sub>190</sub>	987	21.27659574%	0%	0.1013171226%	0.2026342452%

Fonte: Próprio autor.

## APÊNDICE I – TAXA DE ERRO DA BUSCA TABU NA RELAÇÃO PROFESSOR-DIA

Tabela 41 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 1.

Instância	QPQP	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>1</sub>	35	28.57142857%	25.71428571%	20%	25.71428571%
T <sub>2</sub>	35	14.28571429%	8.571428571%	11.42857143%	5.714285714%
T <sub>3</sub>	47	8.510638298%	12.76595745%	6.382978723%	6.382978723%
T <sub>4</sub>	49	10.20408163%	12.24489796%	6.12244898%	4.081632653 %
T <sub>5</sub>	55	5.454545455%	3.636363636%	3.636363636%	10.90909091 %
T <sub>6</sub>	83	10.84337349%	9.638554217%	12.04819277%	8.43373494 %
T <sub>7</sub>	83	9.638554217%	6.024096386%	4.819277108%	8.43373494 %
T <sub>8</sub>	89	5.617977528%	4.494382022%	11.23595506%	10.11235955 %
T <sub>9</sub>	91	6.593406593%	5.494505495%	8.791208791%	5.494505495 %
T <sub>10</sub>	103	2.912621359%	6.796116505%	0.9708737864%	10.67961165 %
T <sub>11</sub>	118	4.237288136%	7.627118644%	5.93220339 %	2.542372881 %
T <sub>12</sub>	118	5.084745763%	3.389830508%	7.627118644%	6.779661017 %
T <sub>13</sub>	130	6.153846154%	10.76923077%	3.846153846%	5.384615385%
T <sub>14</sub>	132	8.333333333%	4.545454545%	6.818181818%	3.03030303%
T <sub>15</sub>	138	1.449275362%	5.797101449%	6.52173913 %	3.623188406%
T <sub>16</sub>	166	6.024096386%	6.626506024%	4.819277108%	9.036144578%
T <sub>17</sub>	166	4.21686747 %	7.228915663%	4.819277108%	1.807228916%
T <sub>18</sub>	172	5.813953488%	8.139534884%	5.813953488%	4.069767442%
T <sub>19</sub>	174	6.896551724%	6.896551724%	5.172413793%	5.747126437%
T <sub>20</sub>	186	4.838709677%	9.139784946%	5.376344086%	8.064516129%
T <sub>21</sub>	201	8.457711443%	6.965174129%	5.970149254%	6.965174129%
T <sub>22</sub>	201	6.467661692%	2.487562189%	3.482587065%	4.47761194%
T <sub>23</sub>	213	5.633802817%	5.633802817%	4.694835681%	2.34741784%
T <sub>24</sub>	215	6.046511628%	5.581395349%	4.186046512%	5.11627907%
T <sub>25</sub>	221	6.787330317%	6.334841629%	6.787330317%	7.692307692%
T <sub>26</sub>	249	5.62248996 %	6.827309237 %	6.024096386 %	5.220883534%
T <sub>27</sub>	249	4.016064257%	6.024096386 %	6.827309237 %	5.220883534%
T <sub>28</sub>	255	8.62745098%	5.882352941 %	5.098039216 %	5.490196078%
T <sub>29</sub>	257	5.836575875%	8.949416342%	5.836575875%	5.058365759%
T <sub>30</sub>	269	20.81784387%	2.230483271%	23.79182156%	21.18959108%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 42 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 2.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>31</sub>	58	1.724137931%	1.724137931%	3.448275862%	3.448275862%
T <sub>32</sub>	78	1.282051282%	0%	2.564102564%	2.564102564%
T <sub>33</sub>	116	0.8620689655%	0.8620689655%	0.8620689655%	0%
T <sub>34</sub>	136	0.7352941176%	0%	1.470588235%	0%
T <sub>35</sub>	174	0.5747126437%	0%	0.5747126437%	0.5747126437%
T <sub>36</sub>	194	0%	1.030927835%	0.5154639175%	0.5154639175%
T <sub>37</sub>	232	0%	0.4310344828%	0.4310344828%	0.4310344828%
T <sub>38</sub>	252	0%	0%	0.7936507937%	0.3968253968%
T <sub>39</sub>	290	0%	0.3448275862%	0%	0%
T <sub>40</sub>	310	0.3225806452%	0.3225806452%	0.6451612903%	0.3225806452%
T <sub>41</sub>	348	0%	0%	0.2873563218%	0%
T <sub>42</sub>	368	0.2717391304%	0.2717391304%	0.2717391304%	0.5434782609%
T <sub>43</sub>	406	0.2463054187%	0.2463054187%	0.2463054187%	0.2463054187%
T <sub>44</sub>	426	0%	0%	0.234741784%	0.234741784%
T <sub>45</sub>	464	0.2155172414%	0.4310344828%	0.2155172414%	0%
T <sub>46</sub>	484	0%	0.2066115702%	0.4132231405%	0%
T <sub>47</sub>	522	0%	0%	0.3831417625%	0.1915708812%
T <sub>48</sub>	542	0.184501845%	0.184501845%	0.184501845%	0.36900369%
T <sub>49</sub>	580	0.3448275862%	0.1724137931%	0%	0%
T <sub>50</sub>	600	0.1666666667%	0.3333333333%	0%	0%
T <sub>51</sub>	638	0%	0%	0.1567398119%	0.1567398119%
T <sub>52</sub>	658	0%	0.1519756839%	0.1519756839%	0.1519756839%
T <sub>53</sub>	696	0%	0.2873563218%	0.1436781609%	0.2873563218%
T <sub>54</sub>	716	0.1396648045%	0.1396648045%	0.2793296089%	0.1396648045%
T <sub>55</sub>	754	0.1326259947%	0.1326259947%	0%	0.1326259947%
T <sub>56</sub>	774	0.2583979328%	0.1291989664%	0.1291989664%	0.2583979328%
T <sub>57</sub>	812	0%	0%	0.3694581281%	0.1231527094%
T <sub>58</sub>	832	0.1201923077%	0%	0.1201923077%	0.2403846154%
T <sub>59</sub>	870	0%	0.1149425287%	0.1149425287%	0.1149425287%
T <sub>60</sub>	890	0%	0%	0.1123595506%	0.1123595506%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 43 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 3.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>61</sub>	22	22.72727273%	18.18181818%	18.18181818%	18.18181818%
T <sub>62</sub>	37	8.108108108%	8.108108108%	8.108108108%	13.51351351 %
T <sub>63</sub>	43	6.976744186%	9.302325581%	4.651162791%	2.325581395%
T <sub>64</sub>	49	2.040816327%	8.163265306%	10.20408163%	6.12244898%
T <sub>65</sub>	54	11.11111111%	7.407407407%	5.555555556%	14.81481481%
T <sub>66</sub>	60	11.66666667%	5%	6.666666667%	8.333333333%
T <sub>67</sub>	66	4.545454545%	6.060606061%	6.060606061%	6.060606061 %
T <sub>68</sub>	71	7.042253521%	21.12676056%	9.85915493%	11.26760563%
T <sub>69</sub>	77	3.896103896%	6.493506494%	2.597402597%	1.298701299%
T <sub>70</sub>	83	2.409638554%	2.409638554%	7.228915663%	4.819277108%
T <sub>71</sub>	88	9.090909091%	6.818181818%	6.818181818%	4.545454545%
T <sub>72</sub>	103	6.796116505%	4.854368932%	10.67961165%	8.737864078%
T <sub>73</sub>	109	7.339449541%	8.256880734%	4.587155963%	2.752293578%
T <sub>74</sub>	115	1.739130435%	6.086956522%	6.956521739%	5.217391304%
T <sub>75</sub>	120	5.833333333%	3.333333333%	3.333333333%	8.333333333%
T <sub>76</sub>	126	4.761904762%	6.349206349%	6.349206349%	4.761904762%
T <sub>77</sub>	132	5.303030303%	4.545454545%	3.787878788%	6.060606061%
T <sub>78</sub>	137	11.67883212%	5.109489051%	6.569343066%	8.759124088%
T <sub>79</sub>	143	7.692307692%	9.090909091%	3.496503497%	5.594405594%
T <sub>80</sub>	149	12.08053691%	12.08053691%	6.711409396%	4.697986577%
T <sub>81</sub>	154	6.493506494%	7.792207792%	4.545454545%	5.844155844%
T <sub>82</sub>	169	7.100591716%	5.325443787%	5.325443787%	2.958579882%
T <sub>83</sub>	175	5.142857143%	3.428571429%	7.428571429%	5.142857143%
T <sub>84</sub>	181	11.04972376%	8.839779006%	3.314917127%	4.419889503%
T <sub>85</sub>	186	8.064516129%	6.451612903%	10.21505376%	1.075268817%
T <sub>86</sub>	192	9.375%	5.729166667%	7.8125%	5.208333333%
T <sub>87</sub>	198	9.090909091%	6.060606061%	4.04040404%	22.22222222%
T <sub>88</sub>	203	6.896551724%	7.389162562%	4.926108374%	6.403940887%
T <sub>89</sub>	209	4.784688995%	1.435406699%	11.96172249%	5.741626794%
T <sub>90</sub>	215	13.95348837%	6.511627907%	6.511627907%	6.511627907%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 44 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 4.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>91</sub>	46	0 %	0 %	0 %	2.173913043 %
T <sub>92</sub>	67	1.492537313 %	0 %	0 %	0 %
T <sub>93</sub>	92	0 %	0 %	0 %	1.086956522%
T <sub>94</sub>	113	0 %	0.8849557522 %	0 %	0.8849557522%
T <sub>95</sub>	138	0 %	0.7246376812 %	0 %	2.173913043%
T <sub>96</sub>	159	0 %	0 %	0.6289308176 %	0%
T <sub>97</sub>	184	0 %	0.5434782609 %	0.5434782609 %	0%
T <sub>98</sub>	205	0 %	0.487804878 %	0.9756097561 %	0%
T <sub>99</sub>	230	0.4347826087 %	1.304347826 %	0 %	0.8695652174%
T <sub>110</sub>	251	0.3984063745 %	0 %	0.3984063745 %	0%
T <sub>111</sub>	276	0 %	0.3623188406 %	0 %	0.7246376812%
T <sub>112</sub>	297	0 %	0 %	0 %	0.6734006734%
T <sub>113</sub>	322	0 %	0 %	0.3105590062 %	0%
T <sub>114</sub>	343	0 %	0 %	0.2915451895 %	0.583090379%
T <sub>115</sub>	368	0.5434782609 %	0.8152173913 %	0.2717391304 %	0.2717391304%
T <sub>116</sub>	389	0 %	0.2570694087 %	0 %	0.2570694087%
T <sub>117</sub>	414	0 %	0.2415458937 %	0 %	0.2415458937%
T <sub>118</sub>	435	0 %	0.2298850575 %	0 %	0%
T <sub>119</sub>	460	0 %	0.4347826087 %	0 %	0%
T <sub>120</sub>	481	0 %	0.2079002079 %	0 %	0%
T <sub>121</sub>	506	0 %	0.5928853755 %	0.1976284585 %	0.395256917%
T <sub>122</sub>	527	0 %	0.1897533207 %	0.1897533207 %	0%
T <sub>123</sub>	552	0.3623188406 %	0.1811594203 %	0.7246376812 %	0.1811594203%
T <sub>124</sub>	573	0 %	0.3490401396 %	0.6980802792 %	0.1745200698%
T <sub>125</sub>	598	0 %	0.5016722408 %	0.1672240803 %	0.3344481605%
T <sub>126</sub>	619	0 %	0.1615508885 %	0.1615508885 %	0.3231017771%
T <sub>127</sub>	644	0 %	0.1552795031 %	0.3105590062 %	0.1552795031%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 45 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 5.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>128</sub>	123	13.82113821 %	11.38211382 %	17.07317073 %	19.51219512%
T <sub>129</sub>	164	7.317073171 %	7.317073171 %	3.658536585 %	5.487804878%
T <sub>130</sub>	205	6.829268293 %	2.43902439 %	3.902439024 %	4.87804878%
T <sub>131</sub>	246	6.910569106 %	4.87804878 %	8.130081301 %	4.471544715%
T <sub>132</sub>	287	8.362369338 %	3.484320557 %	2.090592334 %	2.787456446%
T <sub>133</sub>	328	2.134146341 %	5.792682927 %	7.317073171 %	6.402439024%
T <sub>134</sub>	369	3.79403794 %	2.98102981 %	8.672086721 %	7.317073171%
T <sub>135</sub>	410	5.853658537 %	4.87804878 %	7.317073171 %	5.609756098%
T <sub>136</sub>	451	4.87804878 %	7.760532151 %	4.65631929 %	4.21286031%
T <sub>137</sub>	492	2.845528455 %	4.471544715 %	1.016260163 %	0.6097560976%
T <sub>138</sub>	533	2.626641651 %	7.12945591 %	7.879924953 %	6.941838649%
T <sub>139</sub>	574	3.31010453 %	7.491289199 %	4.703832753 %	5.052264808%
T <sub>140</sub>	615	6.504065041 %	4.715447154 %	5.853658537 %	4.87804878%
T <sub>141</sub>	656	8.231707317 %	4.268292683 %	8.384146341 %	5.487804878%
T <sub>142</sub>	697	4.591104735 %	3.87374462 %	7.317073171 %	7.604017217%
T <sub>143</sub>	738	3.929539295 %	8.807588076 %	9.078590786 %	7.723577236%
T <sub>144</sub>	779	6.161745828 %	6.033376123 %	3.851091142 %	6.803594352%
T <sub>145</sub>	820	7.804878049 %	4.512195122 %	6.585365854 %	3.048780488%
T <sub>146</sub>	861	4.761904762 %	6.620209059 %	7.317073171 %	5.574912892%
T <sub>147</sub>	902	5.764966741 %	2.66075388 %	6.873614191 %	4.4345898%
T <sub>148</sub>	943	4.029692471 %	8.16542948 %	5.408271474 %	5.72640509%
T <sub>149</sub>	984	6.402439024 %	3.861788618 %	6.402439024 %	5.284552846%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 46 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 6.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
T <sub>150</sub>	123	13.82113821 %	11.38211382 %	17.07317073 %	19.51219512 %
T <sub>151</sub>	164	7.317073171 %	7.317073171 %	3.658536585 %	5.487804878%
T <sub>152</sub>	205	6.829268293 %	2.43902439 %	3.902439024 %	4.87804878%
T <sub>153</sub>	246	6.910569106 %	4.87804878 %	8.130081301 %	4.471544715%
T <sub>154</sub>	287	8.362369338 %	3.484320557 %	2.090592334 %	2.787456446%
T <sub>155</sub>	328	2.134146341 %	5.792682927 %	7.317073171 %	6.402439024%
T <sub>156</sub>	369	3.79403794 %	2.98102981 %	8.672086721 %	7.317073171%
T <sub>157</sub>	410	5.853658537 %	4.87804878 %	7.317073171 %	5.609756098%
T <sub>158</sub>	451	4.87804878 %	7.760532151 %	4.65631929 %	4.21286031%
T <sub>159</sub>	492	2.845528455 %	4.471544715 %	1.016260163 %	0.6097560976%
T <sub>160</sub>	533	2.626641651 %	7.12945591 %	7.879924953 %	6.941838649%
T <sub>161</sub>	574	3.31010453 %	7.491289199 %	4.703832753 %	5.052264808%
T <sub>162</sub>	615	6.504065041 %	4.715447154 %	5.853658537 %	4.87804878%
T <sub>163</sub>	656	8.231707317 %	4.268292683 %	8.384146341 %	5.487804878%
T <sub>164</sub>	697	4.591104735 %	3.87374462 %	7.317073171 %	7.604017217%
T <sub>165</sub>	738	3.929539295 %	8.807588076 %	9.078590786 %	7.723577236%
T <sub>166</sub>	779	6.161745828 %	6.033376123 %	3.851091142 %	6.803594352%
T <sub>167</sub>	820	7.804878049 %	4.512195122 %	6.585365854 %	3.048780488%
T <sub>168</sub>	861	4.761904762 %	6.620209059 %	7.317073171 %	5.574912892%
T <sub>169</sub>	902	5.764966741 %	2.66075388 %	6.873614191 %	4.4345898%
T <sub>170</sub>	943	4.029692471 %	8.16542948 %	5.408271474 %	5.72640509%
T <sub>171</sub>	984	6.402439024 %	3.861788618 %	6.402439024 %	5.284552846%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 47 – Taxa de erro do BT em relação a restrição professor-dia na classe 7.

Instância	QPQPD	Taxa de erro por parâmetro do BT			
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
<i>T</i> <sub>172</sub>	141	16.31205674 %	18.43971631 %	15.60283688 %	12.05673759 %
<i>T</i> <sub>173</sub>	188	4.787234043 %	3.191489362 %	5.319148936 %	2.127659574%
<i>T</i> <sub>174</sub>	235	2.978723404 %	5.106382979 %	2.553191489 %	5.957446809%
<i>T</i> <sub>175</sub>	282	3.90070922 %	1.418439716 %	3.90070922 %	5.319148936%
<i>T</i> <sub>176</sub>	329	5.167173252 %	5.47112462 %	3.951367781 %	6.382978723%
<i>T</i> <sub>177</sub>	376	5.585106383 %	2.393617021 %	4.787234043 %	2.925531915%
<i>T</i> <sub>178</sub>	423	3.78250591 %	4.01891253 %	5.200945626 %	3.073286052%
<i>T</i> <sub>179</sub>	470	3.617021277 %	3.404255319 %	3.404255319 %	5.106382979%
<i>T</i> <sub>180</sub>	517	7.350096712 %	6.576402321 %	4.061895551 %	2.51450677%
<i>T</i> <sub>181</sub>	564	3.90070922 %	0.3546099291%	3.90070922 %	6.205673759%
<i>T</i> <sub>182</sub>	611	4.582651391 %	6.873977087 %	7.037643208 %	4.909983633%
<i>T</i> <sub>183</sub>	658	6.23100304 %	3.495440729 %	4.407294833 %	5.319148936%
<i>T</i> <sub>184</sub>	705	6.524822695 %	8.510638298 %	9.645390071 %	3.546099291%
<i>T</i> <sub>185</sub>	752	10.63829787 %	7.180851064 %	7.180851064 %	3.590425532%
<i>T</i> <sub>186</sub>	799	8.260325407 %	7.88485607 %	3.003754693 %	3.754693367%
<i>T</i> <sub>187</sub>	846	4.01891253 %	4.609929078 %	7.092198582 %	8.628841608%
<i>T</i> <sub>188</sub>	893	7.166853303 %	7.278835386 %	6.830907055 %	6.159014558%
<i>T</i> <sub>189</sub>	940	5.212765957 %	7.553191489 %	7.765957447 %	7.553191489%
<i>T</i> <sub>190</sub>	987	8.915906788 %	3.951367781 %	6.484295846 %	6.180344478%

Fonte: Próprio autor.