



Uso de Meta-Heurísticas para o Problema de Alocação de Salas do Instituto de Ciências Exatas

Marcos Roberto Chindelar de Oliveira Leite

JUIZ DE FORA
JULHO, 2019

Uso de Meta-Heurísticas para o Problema de Alocação de Salas do Instituto de Ciências Exatas

MARCOS ROBERTO CHINDELAR DE OLIVEIRA LEITE

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Heder Soares Bernardino

JUIZ DE FORA
JULHO, 2019

USO DE META-HEURISTICAS PARA O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

Marcos Roberto Chindelar de Oliveira Leite

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Heder Soares Bernardino
Doutor em Modelagem Computacional

Stênio Sã Rosario Furtado Soares
Doutor em Computação

Luciana Conceição Dias Campos
Doutora em Engenharia Elétrica

Eduardo Barrere
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

JUIZ DE FORA
05 DE JULHO, 2019

Resumo

O Problema de Alocação de Salas (PAS) é um problema de otimização combinatória que consiste em alocar disciplinas em um conjunto de salas em certos horários. Encontrar a solução manual demanda um grande tempo e esforço. Nesse trabalho é abordada uma variante do Problema de Alocação de Salas que adapta a realidade de um curso de uma universidade que segue o modelo de ensino em regime de créditos (módulos semestrais divididos em semanas letivas em que cada unidade de crédito equivale a um determinado número de horas-aula). Para resolvê-lo foram utilizadas: uma abordagem baseada em Algoritmos Genéticos (GA) e uma abordagem melhorada de Busca Local baseada no trabalho desenvolvido em (LEITE, 2017). Busca-se atender a toda a demanda de disciplinas minimizando o uso dos recursos. Ao final é apresentado um comparativo entre os resultados obtidos pelas soluções manuais e pelos algoritmos desenvolvidos nesse trabalho, mostrando que os algoritmos propostos geram boas soluções para o problema com destaque para a abordagem baseada em algoritmos genéticos. Os dados utilizados para comparação dos algoritmos foram os dados das alocações das turmas do segundo semestre do ano de 2016 do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Palavras-chave: Problema de Alocação de Salas, Algoritmos Genéticos, Busca Local, Meta-heurísticas.

Abstract

The Room Allocation Problem is a combinatorial optimization problem that consists of allocating disciplines in a set of rooms at certain times. Finding the manual solution takes a lot of time and effort. In this paper we discuss a variant of the Room Allocation Problem that adapts the reality of a course of a university that follows the model of teaching in credits regime (semester modules divided into weeks in which each unit of credit is equals to a certain number of class hours). In order to solve this problem, we used a Genetic Algorithm (GA) approach and an improved Local Search approach based on the work developed in (LEITE, 2017). It seeks to meet all the demand of disciplines minimizig the use of resources. Finally, a comparison between the results obtained by the manual solutions and the algorithms developed in this work is presented, showing that the proposed algorithms generate good solutions to the problem, highlighting the approach of genetic algorithms. The data used to compare the algorithms were the data of the allocations of the classes of the second semester of 2016 of the Institute of Exact Sciences of the Federal University of Juiz de Fora.

Keywords: Room Allocation Problem, Genetic Algorithms, Local Search, Meta-heuristics.

Agradecimentos

A Deus, por ter iluminado o meu caminho até aqui, permitindo que eu pudesse ter uma vida maravilhosa e repleta de pessoas ótimas ao meu redor que me auxiliam, cada um a sua maneira, a ser uma pessoa melhor e continuar nessa estrada.

A minha avó, por ter sempre acreditado em mim, por sempre estar ao meu lado, por sempre me apoiar em todos os momentos e por todo seu imenso amor. Sem ela eu não teria chegado até aqui. Tenho certeza de que onde ela estiver está orgulhosa.

Ao meu pai e minha mãe, por todo apoio, encorajamento e amor incondicional durante toda minha vida até aqui. Eles foram fundamentais para que eu chegasse até aqui e também serão fundamentais para que eu possa chegar ainda mais longe.

Ao meu amor, que sempre me apoia em todos os momentos, que está sempre apta a me ajudar, que está sempre pronta pra enfrentar todas as dificuldades e sempre fazendo o que há de melhor na cozinha. Quero dizer que não tenho palavras para descrever o quanto eu te amo, o quanto você é importante para mim e o quanto eu tenho a agradecer a Deus por ter você na minha vida.

Aos meus amigos, que estiveram e aos que ainda estão comigo até aqui me contemplando com o melhor da amizade. Vocês são os melhores. Não existe pessoa com amigos melhores do que os meus. A vocês meu muito obrigado.

Ao professor Heder, pela orientação, pela grande amizade e principalmente, pela incrível paciência. Sem o seu apoio este trabalho não se realizaria.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação, pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

A todos os que fizeram parte da minha história, pelos bons momentos que passamos. Com certeza pude retirar ensinamentos e aprendizados dessas experiências. Mesmo que hoje não façam mais parte dessa caminhada, meu muito obrigado.

“Meu amigo. Meu orgulho. Meu Pai ”.

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Contextualização do Problema	10
1.2 Justificativa	11
1.3 Objetivos	12
2 Fundamentação Teórica	13
2.1 PEGHE	13
2.1.1 Classificação do PEGHE	14
2.1.2 Problema de Horários de Escolas (<i>School Timetabling</i>)	14
2.1.3 Problema de Alocação de Exames (<i>Examination Timetabling</i>)	15
2.1.4 Problema de Horários de Curso(<i>Course Timetabling</i>)	16
2.1.5 Problema de Alocação de Salas(<i>Classroom Assignment Problem</i>)	16
2.2 Métodos de Busca	17
2.2.1 Busca Local	18
2.2.2 Algoritmos Genéticos	19
3 Revisão Bibliográfica	23
3.1 Meta-heurísticas aplicadas ao PEGHE	23
3.2 Algoritmos Genéticos para o PAS	27
4 O Problema de Alocação de Salas no Instituto de Ciências Exatas	31
5 Implementações dos Métodos de Busca	34
5.1 Cálculo da Função Objetivo	34
5.2 Busca Local Aplicada ao PAS	35
5.2.1 Algoritmo de Busca Local Proposto	35
5.2.2 Estruturas de Solução	36
5.2.3 Operadores de Movimento	37
5.2.4 Heurística Gulosa	39
5.3 Algoritmos Genéticos Aplicados ao PAS	40
5.3.1 Algoritmo Genético Proposto	40
5.3.2 Representação do Indivíduo	41
5.3.3 Operadores Genéticos	42
5.3.4 Heurística de Busca Local	45
6 Experimentos Computacionais	47
6.1 Dados do PAS	47
6.2 Parâmetros	48
6.3 Análise dos Resultados	49

7 Conclusão e Trabalhos Futuros	53
Bibliografia	54
A Anexo I: Alocação Manual Ajustada	58
B Anexo II: Alocação Algoritmo Genético	68
C Anexo III: Alocação Busca Local	78
D Anexo IV: Instruções de Uso	88
D.1 Formatos dos dados de entrada	88
D.2 Formatos dos dados de saída	89
D.3 Passo a passo	89
D.4 Recomendações	89

Lista de Figuras

2.1	Representação dos ótimos locais e global de uma função.	17
2.2	Representação da vizinhança de uma solução.	19
2.3	Representação de um indivíduo de um AG.	20
2.4	Representação do processo de recombinação.	20
2.5	Representação do processo de mutação.	21
5.1	Representação da estrutura de Solução da Busca Local.	36
5.2	Exemplo de estruturas auxiliares.	37
5.3	Operador de Alocação.	38
5.4	Operador de Desalocação.	38
5.5	Operador de Realocação.	39
5.6	Representação do Indivíduo.	42
5.7	Exemplo Recombinação de Um Ponto.	43
5.8	Exemplo Recombinação Linear.	43
5.9	Exemplo Recombinação Parcialmente Mapeada.	44
5.10	Exemplo Recombinação em Ordem.	44
5.11	Exemplo Mutação de Deslocamento.	45
5.12	Exemplo Mutação Emparelhada.	45
5.13	Exemplo Mutação Inversa.	45
6.1	Boxplot das soluções obtidas pelo Algoritmo Genético e Busca Local. . . .	52

Lista de Tabelas

6.1	Parâmetros do cálculo da função objetivo.	48
6.2	Parâmetros Busca Local.	48
6.3	Parâmetros Algoritmo Genético.	49
6.4	Análise dos resultados obtidos.	50
6.5	Análise dos componentes da função objetivo.	51

Lista de Abreviações

DCC	Departamento de Ciência da Computação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
ICE	Instituto de Ciências Exatas
PEGHE	Problema de Elaboração de Grades de Horários Escolares
PAS	Problema de Alocação de Salas
AG	Algoritmo Genético

1 Introdução

1.1 Contextualização do Problema

Em qualquer instituição de ensino (desde escolas de ensino fundamental até universidades), em todo o início de ano (ou semestre no caso das universidades), há sempre a preocupação com a distribuição de turmas, dias, salas e horários das disciplinas que serão ofertadas e como cada professor será alocado para essas turmas (MORAIS; SILVA, 2014). Apesar dos grandes avanços tecnológicos muitas instituições realizam esse processo de distribuição de maneira manual, o que o torna muito demorado, necessita do envolvimento de diversos coordenadores e professores dos departamentos envolvidos e seja difícil de se otimizar o uso dos recursos e as distribuições dos horários (SALES, 2015). Isso faz com que, em muitas vezes, apesar de se buscar otimizar os resultados obtidos nesse processo, opte-se pela primeira solução viável encontrada (SOARES, 2011).

O Problema de Alocação de Salas é um problema de otimização combinatória referido na literatura como um problema pertencente à classe NP-difícil (KRIPKA; KRIPKA; SILVA, 2011), que é uma classe de problemas em que a obtenção da solução ótima do problema, em um período de tempo aceitável, não é uma tarefa simples (SUBRAMANIAN et al., 2006). Para problemas combinatórios dessa natureza, a utilização de métodos matemáticos exatos se mostra pouco eficiente, mesmo para problemas de médio porte. Devido a isso, a utilização de métodos heurísticos (DAMMAK et al., 2008) vêm como uma boa alternativa para o problema de alocação de salas, entre outros dessa natureza. Apesar de não garantirem encontrar a solução ótima do problema, os métodos heurísticos em sua maioria são capazes de encontrar uma solução de qualidade em um tempo computacional razoável para o problema em que são empregadas. Dentre as heurísticas, merecem especial atenção as chamadas meta-heurísticas, que surgiram como uma alternativa para amenizar a dificuldade que os métodos heurísticos tem de escapar dos chamados ótimos locais que são pontos que apresentam o melhor valor para a função objetivo em um dado intervalo do espaço de busca (SILVA; SAMPAIO; ALVARENGA, 2005).

O Problema de Alocação de Salas (PAS) é um problema muito explorado na literatura e com diferentes formulações, cada uma com objetivo de realizar a otimização da alocação de salas em instituições de ensino considerando as suas particularidades e objetivos específicos para o problema, pois em cada instituição em que o problema é abordado, há diferentes formas de se avaliar a qualidade de uma alocação (CIRINO, 2016). Este trabalho aborda a variante deste problema que reflete o ambiente de uma instituição de ensino superior, mais especificamente a realidade do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora.

1.2 Justificativa

Existem no mercado programas que realizam o processo de elaboração de grades horárias de maneira automática, porém são *softwares* que por serem elaborados para atender um certo tipo de instituição de ensino, são desenvolvidos de acordo com a realidade dessa instituição, que pode ser diferente das demais devido à diversidade de regimes educacionais, que variam de região para região, e das próprias características de cada instituição. Portanto, esses softwares não possuem um grande poder de generalização. Existe ainda a dificuldade de se encontrar uma solução que utilize os recursos de forma otimizada, concilie as preferências dos professores e atenda a realidade da instituição de ensino em que se deseja resolver o problema da alocação de salas.

Dessa forma se torna necessário um estudo que seja voltado para a realidade da instituição onde a alocação será feita, considerando os seus objetivos, particularidades e restrições. O Instituto de Ciências Exatas (ICE) reúne diversos departamentos, cursos de graduação presencial, Mestrado e Doutorado. Além disso, o ICE oferece vagas para os outros cursos da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), o que torna a demanda por horários, salas e professores muito grande. Outra questão importante é que cada departamento elabora de maneira independente o seu próprio plano departamental de disciplinas, o que gera uma demanda com horários irregulares para o início e duração das disciplinas. Assim, um estudo do Problema de Alocação de Salas no Instituto de Ciências Exatas é o tema do presente trabalho.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver algoritmos baseados em meta-heurísticas para resolver o problema de Alocação de Salas de forma a encontrar soluções de qualidade, voltado ao problema de alocação de salas do ICE.

Como objetivos específicos a serem alcançados:

- Aplicar os algoritmos desenvolvidos usando dados reais do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Analisar e comparar os resultados obtidos pelos algoritmos e pelas soluções manuais a partir dos dados disponibilizados do Instituto de Ciências Exatas (ICE), nos quesitos de tempo e qualidade de acordo com os objetivos estabelecidos pelos mesmos.

2 Fundamentação Teórica

Existem diversas classes de problemas que compõe o Problema de Elaboração de Grades de Horários Escolares (PEGHE) na literatura, com cada uma delas apresentando suas próprias características (TIMÓTEO, 2004). Nesse capítulo serão abordadas os conceitos, restrições e as variações do PEGHE encontradas na literatura, incluindo o PAS.

2.1 PEGHE

O PEGHE é um problema de otimização combinatória (LEWIS, 2008) que consiste em alocar disciplinas em um conjunto de salas e professores para essas disciplinas, respeitando um conjunto de restrições e buscando atender ao máximo as necessidades e preferências de professores e alunos e minimizando as penalidades por violar alguma dessas restrições. Normalmente, a solução manual para esse tipo de problema acaba por não atender a muitas das necessidades dos envolvidos. Podemos classificar essas restrições que envolvem o Problema de geração de Grades de Horários Escolares em duas categorias (SANTOS; SOUZA, 2007): restrições fracas e restrições fortes.

As restrições fortes (ou essenciais) são aquelas que devem ser satisfeitas a todo custo, pois somente soluções que atendam a todas as restrições desse tipo são consideradas factíveis. Os exemplos mais comuns desse tipo de restrição, são as restrições físicas, como as da capacidade da sala ser compatível com tamanho (número de alunos) da turma, duas turmas não poderem ser alocadas em uma mesma sala em um mesmo horário, entre outras. As restrições fracas (ou não essenciais) são aquelas que são desejáveis de serem satisfeitas, mas que caso contrário, não tornam a solução obtida inviável. São restrições ligadas a qualidade da solução obtida pelo método de busca utilizado. Exemplos de restrições desse tipo são as turmas serem atendidas sempre na mesma sala durante a semana, turmas serem alocadas de forma com que o deslocamento dos alunos e/ou professores seja o menor possível, entre outras. A determinação das restrições, principalmente as fracas, é feita de acordo com as características de cada problema, sendo o mais comum a atribuição de

pesos para cada uma dessas restrições, de acordo com a sua importância para o problema (PRADO, 2014).

Determinados casos do PEGHE tem como objetivo que todas as restrições, fracas e fortes, sejam atendidas para a geração do horário. Assim, considera-se nesses casos o problema como sendo um problema de viabilidade, tornando seu objetivo à obtenção de uma solução viável, sendo este classificado como um problema NP-Completo, com relação à sua complexidade (B.COOPER; H.KINGSTON, 1996). Outros casos tem como objetivo encontrar um quadro de horário que satisfaça a todas as restrições fortes e que atenda ao máximo as restrições fracas, sendo este classificado como NP-Difícil com relação à sua complexidade (EIKELDER; WILLEMEN, 2001). Esse ultimo caso é o abordado no presente trabalho.

2.1.1 Classificação do PEGHE

Conforme mencionado anteriormente, diante da grande diversidade de regimes educacionais, seja por questões regionais ou características de cada instituição, há uma grande variedade de PEGHE, tornando-se difícil generalizá-lo (TIMÓTEO, 2004). Mas ainda assim, podemos dividi-los em algumas categorias de acordo com suas características, que são:

- Problema de Horários de Escolas
- Problema de Alocação de Exames
- Problema de Horários de Curso
- Problema de Alocação de Salas

O PAS é a categoria abordada nesse trabalho. Nas seções a seguir são abordadas as características e restrições envolvidas em cada uma das variações do PEGHE.

2.1.2 Problema de Horários de Escolas (*School Timetabling*)

O Problema de Horários Escolares (SOUZA; COSTA; GUIMARÃES, 2002) reflete a realidade das escolas de ensino fundamental e médio que, geralmente, seguem o regime de

ensino seriado. Dessa forma, a elaboração do quadro de horário é feita para um mesmo turno (manha, tarde, noite) e com uma programação que se repete durante todo o período (semanal ou anual). E também há um conjunto de professores e disciplinas com carga horária semanal para todos os alunos de uma mesma turma. Nesse tipo de problema as turmas são um conjunto disjuncto de alunos que possuem o mesmo currículo (as matérias já são pré-definidas para cada turma). Vale ressaltar, que a distribuição dos espaços físicos (como as salas) não estão no escopo do problema. Dessa forma, considera-se que essa divisão dos recursos como preestabelecida e caso seja necessário algum deslocamento entre salas, isso fica cargo do professor e não dos alunos.

Esse tipo de problema limita-se à associação de um conjunto de turmas, um conjunto de professores e um conjunto de horários reservados para as aulas. Para cada professor defini-se as matérias e as turmas para as quais o professor lecionará e para cada turma os horários das matérias, respeitando a carga horária semanal e as restrições de viabilidade (como duas matérias de uma mesma turma ocupando o mesmo horário ou um professor alocado para duas matérias de mesmo horário, etc).

2.1.3 Problema de Alocação de Exames (*Examination Timetabling*)

O problema de Horários de Exames (MACHADO; BOERES, 2009) consiste em alocar um conjunto de exames, referentes a cada matéria de um currículo, para alunos matriculados em um curso, levando em conta os horários e salas disponíveis e de forma a não sobrepor horários para realização de exames, para que nenhum aluno possa fazer dois ou mais exames simultaneamente.

Algumas restrições que podemos destacar para esse problema são(SOUZA, 2000):

- Limite de exames por dia.
- Alguns exames devem ser realizados no mesmo horário.
- Alguns exames devem ser realizados consecutivamente.

2.1.4 Problema de Horários de Curso(*Course Timetabling*)

O Problema de Horários de Curso (SOCHA; KNOWLES; SAMPELS, 2002) reflete a realidade das universidades que seguem o modelo de ensino em regime de créditos. A cada período (semestre) os alunos podem optar por quais disciplinas querem cursar, desde que estejam dentro do conjunto de disciplinas ofertadas.

A cada período são ofertadas disciplinas que integram o currículo de um ou vários cursos, podendo uma disciplina ser cursada por alunos de diversos cursos. O problema, então, é alocar as aulas dos cursos nos horários disponibilizados, considerando os horários e salas disponíveis de maneira que nenhum estudante tenha duas ou mais aulas de matérias obrigatórias simultaneamente (PRADO, 2014).

Diferentemente do *School Timetabling*, o deslocamento entre salas ocorre por ambos: professor e aluno. A análise dos recursos também entram no escopo do problema. Devido às particularidades de cada instituição, que estão geralmente relacionadas a questões de deslocamento, espaço físico e a sobreposição de horários por exemplo, existem diversas variações desse problema na literatura. Exemplos dessas variações podem ser vistas em (SILVA; SAMPAIO; ALVARENGA, 2005), (KRIPKA; KRIPKA; SILVA, 2011) e (KAZARLIS; PETRIDIS; FRAGKOU, 2015).

2.1.5 Problema de Alocação de Salas(*Classroom Assignment Problem*)

O PAS pode ser considerado um subproblema do problema anterior de Horários de Curso (BARDADYM, 1996). O PAS consiste em, dado um conjunto fixo de salas de aulas, alocar turmas para esse conjunto de salas, buscando otimizar a sua utilização (evitando janelas de horários e alocando o maior número de turmas possíveis por sala) e respeitando uma série de restrições estabelecidas pelo problema. Portanto, nesse problema, os horários e professores de cada disciplina são previamente definidos, devendo serem respeitados no processo de alocação das salas. O número de alunos de cada disciplina e a necessidade de algum tipo de recurso, como projetores e computadores, também são informados anteriormente e são fatores que também devem ser considerados na escolha das salas. Esse

problema, aplicado a realidade do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora é o foco do presente trabalho e é melhor definido no Capítulo 4.

2.2 Métodos de Busca

Existem diversas formas de resolver problemas de otimização combinatória, como os métodos exatos e métodos heurísticos. Esses problemas de otimização combinatória são classificados como NP-difícil, portando, não existe ainda um algoritmo que consiga provar a otimalidade de uma solução para eles em tempo polinomial (PRADO, 2014). Dessa forma, buscam-se soluções que representem o menor (minimização) ou o maior (maximização) valor da função objetivo encontrado em uma região factível (que respeite as restrições) do espaço de busca do problema. O ponto em que esses valores são encontrados é chamado de Ótimo Global.

Podem existir muitos pontos ao longo do espaço de busca de um problema que são considerados ótimos locais, pois apresentam o melhor valor para a função objetivo em um dado intervalo do espaço de busca. A presença desses pontos pode atrapalhar o processo de busca, dificultando que boas soluções sejam encontradas (BARBOSA, 2011). A Figura 2.1 ilustra os pontos ótimos locais e global de uma função objetivo para um dado problema de minimização.

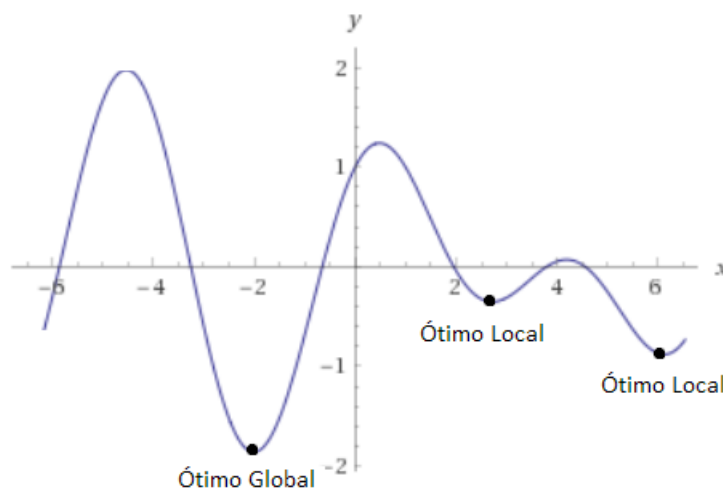


Figura 2.1: Representação dos ótimos locais e global de uma função.

A Figura 2.1 apresenta o gráfico de uma função $y = f(x)$, sendo o eixo horizontal

os valores da variável e o eixo vertical os valores assumidos pela função. Considerando um problema de minimização, a função apresenta 3 valores que podem ser considerados ótimos locais para o problema, pois considerando a região de vale que fazem parte, são os menores valores, sendo o valor do vale mais a esquerda o menor valor da função em todo o espaço de busca, sendo então considerado o ótimo global.

Devido aos fatores mencionados anteriormente relacionados a busca por soluções, casos práticos desses problemas são resolvidos normalmente por meio de métodos heurísticos, tendo em vista que esses métodos produzem, em geral, soluções de boa qualidade em tempo computacional aceitável, sendo essas soluções consideradas suficientes para a maioria das situações reais. Nas seções 2.2.1 e 2.2.2, dois métodos heurísticos são abordados.

2.2.1 Busca Local

A Busca Local é um procedimento de refinamento de uma solução através da exploração da vizinhança dessa solução, que é o conjunto de todas as soluções que podem ser geradas a partir de transformações (operações de troca, inserção ou remoção de um ou mais atributos) aplicadas a essa solução. A Busca Local parte de uma solução inicial obtida de maneira aleatória ou não e faz uma busca pela vizinhança dessa solução para encontrar uma nova solução que seja melhor que a solução atual (corrente). A solução corrente do problema é substituída por essa nova solução vizinha e o processo continua a partir dessa nova melhor solução. Caso nenhuma solução encontrada na vizinhança seja melhor que a solução corrente, o processo termina e a solução corrente é dita um ótimo local. A Figura 2.2 ilustra o processo de busca por soluções na vizinhança de uma solução.

A Figura 2.2 apresenta o gráfico de uma função $y = f(x)$, sendo o eixo horizontal os valores da variável e o eixo vertical os valores assumidos pela função. A partir da solução atual, várias outras soluções podem ser obtidas, porém no caso do exemplo da Figura 2.2 foram selecionadas apenas duas das possíveis soluções obtidas na aplicação da Busca Local, com uma possuindo um valor da função objetivo maior e outra menor. Caso se trate de um problema de minimização, a solução que está abaixo da solução atual no gráfico e por consequência apresenta um valor de função objetivo menor, será a solução escolhida para se tornar a nova solução corrente. Um pseudocódigo desse processo pode

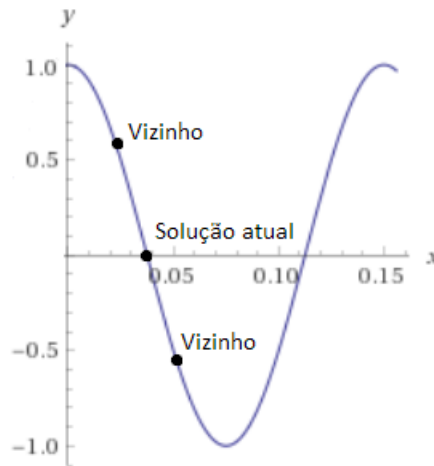


Figura 2.2: Representação da vizinhança de uma solução.

ser visto no Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Pseudocódigo de um Algoritmo de Busca Local.

- 1 Gerar uma solução inicial;
 - 2 **enquanto** *condição de parada não for satisfeita* **faça**
 - 3 Gerar a vizinhança da solução corrente;
 - 4 Selecionar a melhor solução presente na vizinhança;
 - 5 Substituir a solução corrente pela solução encontrada se ela for melhor;
 - 6 **fim_enquanto**
 - 7 **retorna** a solução corrente;
-

2.2.2 Algoritmos Genéticos

Introduzido em (HOLLAND, 1975), os Algoritmos Genéticos são uma meta-heurística populacional inspirada na teoria da evolução e seleção natural das espécies proposta por Darwin. Segundo essa teoria os seres vivos possuem um fenótipo que representam as suas características externas, que por sua vez são provenientes do genótipo, que é a constituição genética do indivíduo. Sendo assim o genótipo é o responsável por atribuir as características fenotípicas do indivíduo, que permite que este interaja com o meio ao qual pertence fazendo com que ele adquira características para a sua sobrevivência e reprodução. Os indivíduos que melhor se adaptam ao meio possuem maiores chances de sobrevivência e por consequência de se reproduzirem.

Na natureza a reprodução sexuada ocorre quando para se reproduzir, os in-

divíduos necessitam trocar material genético (gametas), de forma que um novo indivíduo é gerado com base na combinação das características dos seus progenitores. Assim, a cada geração os indivíduos se reproduzem e seus descendentes podem sofrer mutações, que são selecionadas de acordo com o meio em que estão inseridos de forma que as melhores mudanças tendem a serem escolhidas visando aumentar a adaptação dos indivíduos ao meio.

Os algoritmos genéticos se baseiam no processo de seleção natural. Dessa forma as soluções do problema abordado, representam o fenótipo e o seu genótipo é representado através de uma codificação, que usualmente é feita através de um vetor binário unidimensional formando um indivíduo, como mostra a Figura 2.3. O problema a ser resolvido representa o meio e, portanto, os indivíduos mais bem adaptados são aqueles com melhor valor de função objetivo, que no caso dos algoritmos genéticos é chamada função de aptidão. Assim buscam-se na população (conjunto de indivíduos) aqueles indivíduos com o maior valor de aptidão, pois estes representam as melhores soluções para o problema dentre aquelas já encontradas.

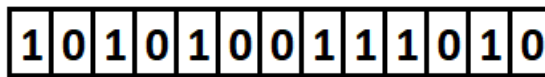


Figura 2.3: Representação de um indivíduo de um AG.

O processo de recombinação nos algoritmos genéticos é baseado no processo de reprodução sexuada. Usualmente, nesse processo, dois indivíduos são selecionados para terem seu genótipo combinado e gerarem descendentes. Para isso um ponto de corte é escolhido de maneira aleatória ou fixa a partir do qual os indivíduos serão divididos em duas partes que serão recombinadas formando novos indivíduos. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 2.4.

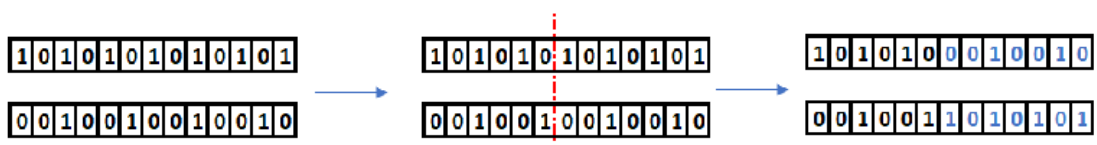


Figura 2.4: Representação do processo de recombinação.

Conforme pode ser visto na Figura 2.4, na primeira etapa do processo são selecionados dois indivíduos parentais de maneira aleatória que serão utilizados para a geração de descendentes. Na segunda etapa os genes dos indivíduos progenitores são selecionados de acordo com o ponto de corte, representado na imagem através da linha vermelha. Por fim as partes selecionadas são recombinadas formando os descendentes (as partes em azul indicam as partes que foram trocadas).

Outro processo importante é o processo de mutação, que geralmente ocorre após o processo de recombinação e consiste na seleção aleatória de um gene de um dos filhos gerados no processo de recombinação e na alteração do seu valor, conforme mostra Figura 2.5.

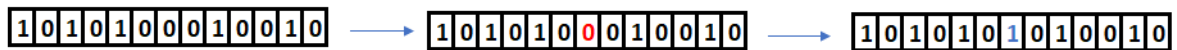


Figura 2.5: Representação do processo de mutação.

Conforme pode ser visto na Figura 2.5, na primeira etapa do processo de mutação é selecionado um indivíduo no qual será aplicado o processo. Na segunda etapa um gene é selecionado de maneira aleatória, representado na imagem com a cor vermelha. Por fim o valor do gene é alterado, representado na imagem na cor azul com o seu novo valor. Existem outros tipos de recombinações e mutações presentes na literatura, como por exemplo as recombinações de dois pontos e a recombinação uniforme (SASTRY; GOLDBERG; KENDALL, 2005), a mutação de vizinhança e a mutação não uniforme (MICHALEWICZ, 1996).

O processo de seleção natural ocorre a cada geração (iteração) do algoritmo, onde cada filho gerado através dos processos de recombinação e mutação, tem seu fitness (valor de aptidão) calculado. Esses indivíduos são adicionados à população já existente formando uma população temporária com mais indivíduos que a original. De acordo com o critério de seleção estabelecido pelo problema, alguns indivíduos dessa população são escolhidos e passam a compor a nova população que possui tamanho igual ao da população original.

Baseado nesses processos, o algoritmo genético começa com uma população inicial, gerada normalmente de maneira aleatória. Depois, são selecionados alguns indivíduos

dessa população para serem aplicados os operadores genéticos de recombinação e mutação. Esses indivíduos gerados com a aplicação dos operadores são adicionados á população original. Aplica-se então o processo de seleção para escolher os indivíduos que passarão a compor a nova população. A cada geração do algoritmo esse processo se repete até que o critério de parada estabelecido seja atingido. Um pseudocódigo desse processo pode ser visto no Algoritmo 2.

Algoritmo 2: Pseudocódigo de um Algoritmo Genético.

- 1 Geração da população inicial randômica;
 - 2 **enquanto** *o critério de parada não for atingido* **faça**
 - 3 Seleciona com base no fitness indivíduos da população atual;
 - 4 Aplica os mecanismos de recombinação e mutação;
 - 5 Calcula o fitness de cada individuo gerado e coloca na população temporária;
 - 6 Seleciona com base no fitness os indivíduos da população temporária para a próxima população da próxima geração;
 - 7 **fim_enquanto**
 - 8 **retorna** o melhor individuo;
-

3 Revisão Bibliográfica

Nesse capítulo são abordados alguns dos trabalhos presentes na literatura para o PEGHE, contemplando os diferentes cenários em que ele pode ser aplicado, como em escolas de ensino fundamental, médio e cursos de universidades. São abordadas as diferentes restrições envolvidas nos trabalhos, como as restrições de distâncias percorridas pelos alunos entre as salas e as restrições de horários das disciplinas entre outras. São analisadas as instâncias utilizadas e como os resultados são avaliadas de acordo com os critérios estabelecidos em cada um dos trabalhos. Em destaque, são abordados também alguns trabalhos que utilizam algoritmos genéticos para resolver o PAS.

3.1 Meta-heurísticas aplicadas ao PEGHE

Em (SILVA; SAMPAIO; ALVARENGA, 2005) é utilizado no processo de otimização do PAS um algoritmo baseado em *Simulated Annealing* (BASIR; ISMAIL; NORWAWI, 2013). Para testes e comparação foram utilizadas três instâncias diferentes: uma instância fictícia, uma versão simplificada dos dados obtidos da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e uma instância, também simplificada, dos dados da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Também é feita uma análise do método proposto em relação aos métodos já existentes para cada instância através da comparação do desvio percentual médio em relação as melhores soluções obtidas pelo trabalho e as encontradas pelos demais na literatura. Os resultados mostram que devido aos fatores mencionados anteriormente relacionados a especificidade do PEGHE em cada instituição, não é possível dizer que os resultados obtidos pelo trabalho são melhores que os demais. Entretanto há uma visível queda no número de inviabilidades presentes na solução final.

Em (HAMAWAKI, 2005) também é proposto uma solução que utiliza algoritmos genéticos, mas em uma realidade de um curso de uma faculdade, com algumas características específicas, como tempo de duração de 5 anos (totalizando 10 períodos), número de disciplinas e professores fixos e 2 turnos de funcionamento (manhã e tarde). A po-

pulção inicial é gerada apenas com indivíduos factíveis, de forma que ao final da criação da população inicial, a restrição de número de aulas por semana de cada disciplina é satisfeita. Para garantir que isso continue ao longo da execução, são feitas verificações desse critério em cada iteração do algoritmo.

Também foi desenvolvida um software, nomeado "AloGra", que além de permitir que o usuário gerencie a base de dados e os resultados obtidos através da aplicação do método, permite também que o usuário configure alguns aspectos do algoritmo genético desenvolvido, tais como número de gerações, número de indivíduos da população, probabilidades de cruzamento e probabilidade de mutação. Dessa forma o usuário pode executar o programa diversas vezes alterando os parâmetros do próprio algoritmo.

Em (ALVES, 2010) foram utilizadas várias meta heurísticas para resolver o problema de horário escolar de uma escola de ensino médio, como *Iterated Local Search* (ALAYKIRAN; HACIBEYOGLU, 2016), *Discrete Particle Swarm Optimization* (CHU; CHEN; HO, 2006), *Jump Frog Optimization* (GARCÍA; MORENO-PÉREZ, 2008) e combinações das técnicas anteriores. Nesse trabalho são apresentadas alguns modelos matemáticos clássicos para as variações do problema de geração de grades de horário e uma explicação dos conceitos utilizados por muitos métodos heurísticos, bem como as descrições de funcionamento e pseudocódigos deles. Ao final é feita uma comparação do funcionamento dos métodos propostos, mostrando que o algoritmo *Iterated Local Search* proposto em todos os casos considerados, gerou soluções viáveis. Já os algoritmos evolutivos implementados (*Discrete Particle Swarn Optimization* e *Jump Frog Optimization*) só conseguiram atender as restrições impostas após utilizarem o *Iterated Local Search* em algum momento de sua execução.

Em (KRIPKA; KRIPKA; SILVA, 2011) os autores apresentam uma formulação para o problema de Alocação de Salas de Aula buscando minimizar a distância percorrida pelos alunos no campus. Nesse problema, cada curso possui um prédio ao qual está associado, chamado de sede. O objetivo então é alocar as disciplinas em salas de maneira que o deslocamento dos alunos entre a sede do seu curso e outros prédios, seja o menor possível. Sendo assim, caso uma turma necessite ser alocada em outro prédio que não seja a sede do curso, essa distância percorrida pelos alunos é contabilizada na função objetivo.

Outro fator importante considerado é a questão do período de matrícula, que pode se estender por alguns dias após o início das aulas, levando a um possível aumento do número de alunos de uma disciplina já alocada em uma sala, sendo então necessárias algumas trocas de salas e fazendo com que as turmas sejam alocadas sempre em salas com capacidades maiores que o número de vagas originais. Também é proposto um algoritmo baseado na meta-heurística *Simulated Annealing* e foi aplicado nos dados reais da Universidade de Passo Fundo (UPF) obtendo resultados melhores que os que vinham sendo praticados manualmente como é mostrado pelos autores.

Em (RIBEIRO; AIZEMBERG; UCHOA, 2013), o problema é modelado como um problema multiobjetivo, portanto é um problema em que se tem objetivos conflitantes (ao melhorar um ou mais objetivos do problema, pioram-se outros e vice-versa), são eles: o equilíbrio da carga horária, a quantidade de horas vagas e as preferências por horários dos docentes. O modelo matemático proposto pelo autor apresenta uma maior preferência aos alunos que estão periodizados (alunos que estão alinhados com a sua grade curricular) com relação aos alunos que estão não estão periodizados (alunos que estão fora do alinhamento com a sua grade curricular) e também não permite que disciplinas do mesmo semestre se sobreponham na elaboração das grades de horário.

Para a implementação do modelo, foram utilizados alguns recursos, como planilhas eletrônicas do Excel do pacote de programas do Office da Microsoft, Visual Basic for Applications, a biblioteca de funções UFFLP que utiliza o CPLEX¹ como resolvidor. A ferramenta desenvolvida no trabalho permite que o usuário escolha entre dar prioridade para a compactação de horários ou pela preferência dos professores de acordo com o que for considerado para o momento.

Uma abordagem através de Programação Linear para o problema de Alocação de Salas pode ser vista em (SALES, 2015). O modelo desenvolvido busca otimizar a utilização das salas disponíveis e minimizar a distância percorrida pelos professores ao trocar de sala, considerando alguns fatores como a preferência dos professores pelo tipo de quadro presente na sala (verde ou branco), a necessidade de algumas disciplinas de serem alocadas em salas com recursos específicos (mesas de desenho por exemplo) e buscando

¹<https://www.ibm.com/br-pt/products/ilog-cplex-optimization-studio>

manter o professor o maior tempo possível em uma mesma sala. O modelo também foi resolvido com a utilização do CPLEX e aplicado aos dados obtidos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os resultados obtidos foram comparados com as soluções manuais, mostrando uma melhora significativa nos quesitos do modelo mencionados anteriormente. Também é mostrado que a solução manual apresenta algumas inconformidades, como o número de vagas em uma disciplina ser maior que a capacidade da sala na qual ela foi alocada, o número de turmas em um horário que necessitam de uma sala com algum tipo de recurso especial ser maior que a quantidade de salas disponíveis que possuem esse recurso especial. Essas inconformidades, conforme indica o autor, são resolvidas manualmente pelo responsável pelas alocações devido ao seu conhecimento do processo e mostram a necessidade de se ter um maior cuidado na elaboração das demandas de cada curso. Uma outra abordagem para o mesmo problema, com a utilização de um modelo matemático multi-índice para a resolução do problema, pode ser vista em (SALES; MULLER; SIMONETTO, 2015).

Em (CIRINO, 2016), os autores apresentam 3 diferentes classes de métodos de solução para o problema de alocação de salas de aula em um ambiente universitário: um método de solução exata, meta-heurísticas mono-objetivo (heurísticas construtivas, Busca Local, Busca Tabu (ISLAM et al., 2016), GRASP (MOURA; SCARAFICCI, 2010), Algoritmos Genéticos, Algoritmos Genéticos Compactos (PESSOA et al., 2015)) e uma meta-heurística multi-objetivo de Busca em Tabelas (RIBEIRO, 2014). Também são apresentadas duas abordagens diferentes para a modelagem do problema, sendo uma com duas métricas de qualidade e outra com 5 métricas de qualidade. Os dados do problema são baseados em um caso real da Universidade de São Paulo (USP) e o resultados mostram que a Busca Local e os Algoritmos Genéticos tiveram bons resultados, tornando promissor a utilização de ambos combinados.

Como pode ser visto nessa seção, em cada instituição em que o PEGHE é abordado, há diferentes objetivos e restrições envolvidos nas formulações dos modelos e nas avaliações dos quadros de horários, tornando cada trabalho uma versão diferente do problema. Pode-se notar também a aplicação de diferentes métodos para resolvê-lo, com destaque para as meta-heurísticas que são amplamente empregadas e geram bons qua-

dros de horários de acordo com as restrições definidas em cada trabalho. Em especial, uma meta-heurística foi escolhida como tema do presente trabalho, que são os algoritmos genéticos. Dessa forma na próxima seção são abordados alguns trabalhos que a utilizam para resolver o PAS.

3.2 Algoritmos Genéticos para o PAS

Em (CISCON et al., 2005) é apresentada uma solução para o PAS, no cenário de uma escola de ensino fundamental e para se resolve-lo foi implementado um algoritmo genético. O trabalho tem como foco a eliminação de janelas e aulas isoladas de professores. Janelas são definidas como sendo os horários ociosos (em um mesmo turno) entre duas aulas de uma grade horária de um professor e as aulas isoladas são as aulas que são únicas de um professor em um dia. Outros fatores consideradas na avaliação do quadro de horários são a carga horária e a preferência de horários dos professores.

Em (GÓES, 2005), são propostos 3 métodos para resolver o problema: um método exato, um método heurístico e um misto dos dois anteriores. No método exato, o problema é abordado como um problema de programação linear inteira binária e resolvido com a ajuda do software LINGO. O método heurístico utiliza de algoritmos genéticos, que consideram as mesmas restrições do método anterior e a cada iteração, são aplicadas também diversas heurísticas de melhoramento nos indivíduos cada uma com um objetivo diferente. A abordagem mista, resolve o problema através do método exato, porém deixa de fora da modelagem matemática algumas das restrições do problema. Após a solução ser encontrada, é aplicada uma heurística de refinamento que representa as restrições que foram excluídas na etapa anterior. Os resultados mostram que o método misto apresenta bons resultados em um tempo computacional aceitável.

A utilização de Algoritmos Genéticos para o Problema de Alocação de Salas de Aula nos cenários de uma escola de ensino primário e em uma de ensino médio pode ser vista em (RAGHAVJEE; PILLAY, 2013). Nesse trabalho os autores utilizam e comparam duas abordagens diferentes para a representação (direta e indireta) do cromossomo utilizado pelo Algoritmo Genético. Na representação direta cada um dos cromossomos representam uma alocação diferente, sendo então cada um, uma possível solução do problema

ou parte dela. Na representação indireta, cada cromossomo representa uma sequência de caracteres que indicam diferentes instruções (capazes de construir e alterar uma alocação), sendo por exemplo o carácter "A" utilizado para representar a Alocação de uma turma ainda não alocada e "D" utilizado para representar a retirada de uma turma já alocada. Em ambas as representações, o algoritmo é executado em duas etapas, sendo a primeira responsável por encontrar uma solução factível e a segunda parte (se necessário), responsável por melhorar a qualidade da solução encontrada na etapa anterior. Os resultados mostram que em ambos os cenários considerados o algoritmo genético com representação indireta se sai melhor que utilizando a representação direta.

Foram utilizadas múltiplas meta heurísticas GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) pra se resolver o problema em (SCALDELAI; VICTOR, 2014). Também foi desenvolvido um software denominado GGHE (Gerador de Grade de Horário Escolar), que tem seu funcionamento dividido em 2 partes: na primeira parte, através de um algoritmo guloso é gerada uma solução factível para o problema. Na segunda parte são aplicadas algumas meta heurísticas GRASP e outras heurísticas para o melhoramento da solução inicial, sendo que cada uma busca melhorar um aspecto diferente para o problema.

Uma outra abordagem que utiliza de Algoritmos Genéticos para resolver o problema de Alocação de Salas de Aula em uma universidade pode ser visto em (KAZARLIS; PETRIDIS; FRAGKOU, 2015). Nesse trabalho os autores combinam o uso de algoritmos genéticos com heurísticas de busca local para resolver o modelo proposto que é baseado em um caso real do Instituto de Educação Tecnológica da Grécia. O objetivo do trabalho é obter uma alocação factível levando em conta as preferências de horários de cada professor, a necessidade de algumas disciplinas de terem mais de um professor alocado para elas, de serem ministradas por um ou mais professores específicos e minimizando as distâncias percorridas pelos professores e alunos nas trocas de salas. Os resultados mostram que quando comparado com a solução manual existente, as soluções obtidas pelo algoritmo são melhores.

Em (SILVEIRA, 2018) é apresentada uma abordagem do PAS, no cenário de uma instituição de ensino superior, levando em consideração as restrições de utilização das salas em certos períodos fixos durante a semana (devido a reuniões pedagógicas), da

necessidade de algumas turmas de serem alocadas em determinadas salas que possuam algum tipo de recurso e de preferência dos professores. Para resolvê-lo foi desenvolvida um método heurístico de duas fases. Na primeira fase desse procedimento uma solução inicial é gerada através da utilização de uma heurística gulosa que aloca as turmas de acordo com o aumento causado por ela na função objetivo, de forma que quanto menor o aumento na função objetivo causado pela alocação da turma, mais alta é a posição dela na lista. Nessa fase, também é dado preferência para as turmas que necessitam de salas com recursos especiais, como o caso dos laboratórios.

Na segunda fase do procedimento é utilizado um procedimento de refinamento da solução baseado na meta-heurística de Busca Tabu. Nessa parte buscam-se soluções que atendam às restrições fortes e que sejam viáveis, pois a solução encontrada na primeira etapa não é necessariamente viável. Os dados utilizados foram os do Instituto Federal Farroupilha. Os resultados mostram que o procedimento heurístico de duas fases proposto atinge bons resultados quando comparado com a solução manual.

Uma abordagem do PAS para a distribuição de exames pode ser visto em (DUARTE, 2018). Nesse trabalho um conjunto de exames necessita ser distribuído em um conjunto de salas. Cada exame possui um determinado número de alunos inscritos e pode ser alocado em mais de uma sala caso o número de alunos exceda a capacidade total de uma única sala. O objetivo é alocar todos os exames, buscando diminuir a distância entre as salas em que um mesmo exame será aplicado e o número de lugares ociosos em cada sala. Para resolver esse problema foi desenvolvido um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) e resolvido com a utilização de um solver. Os dados utilizados foram do Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG) e os resultados mostram uma melhora na utilização das salas e na quantidade de salas utilizadas.

Em (AKKAN; GULCU, 2018) é utilizado uma abordagem multiobjetivo híbrida que combina algoritmos genéticos e *Simulated Annealing* para resolver o PAS. Inicialmente é aplicado o algoritmo genético gerando novos indivíduos a partir da aplicação dos operadores genéticos. Após a geração da nova população intermediária, ela é avaliada e ordenada de acordo com os critérios de dominância e distância de agrupamento (*Crowding Distance*). O melhor indivíduo dessa população é selecionado e nele é aplicado o proce-

dimento de *Simulated Annealing* para refinamento da solução. O procedimento se repete até que o critério de parada seja atingido. As 7 instâncias utilizadas são provenientes de outros trabalhos presentes na literatura. Os resultados obtidos mostram uma eficiência do método em todos os casos avaliados.

Como pode ser visto nessa seção, mesmo com os diferentes objetivos, modelos e restrições do PAS em cada trabalho, abordagens baseadas em algoritmos genéticos conseguem apresentar bons resultados, mostrando que elas podem ser aplicadas em diferentes situações e com diferentes representações de solução. Um dos motivos desse bom desempenho é o fato de que os algoritmos genéticos trabalham com várias soluções (população) ao mesmo tempo e não somente com uma única solução. Outro fator importante é a facilidade de implementação dos algoritmos genéticos para os problemas de otimização combinatória, pois eles necessitam de pouca informação sobre o problema, sendo necessário definir uma forma de representar a solução e avaliá-la de acordo com as restrições do problema em que são empregados (PRADO, 2014).

4 O Problema de Alocação de Salas no Instituto de Ciências Exatas

O Instituto de Ciências Exatas (ICE) reúne diversos departamentos: Ciência da Computação, Física, Química, Estatística e Matemática e conta com 15 cursos de graduação presencial, 8 de Mestrado e 3 de Doutorado, além de oferecer vagas para os cursos de Engenharia e outros cursos da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), o que torna a demanda por horários, salas e professores um problema muito complexo. Cada departamento elabora de maneira independente o seu próprio plano departamental de disciplinas. Isso permite que existam horários irregulares para o início e duração das disciplinas, podendo uma disciplina de um departamento começar as 07h00 e de outro as 11h00 e ainda uma disciplina ter duração de 2 horas e outra 5 horas por exemplo.

O presente trabalho aborda o problema de Alocação de Salas de Aula, aplicado ao contexto do ICE, tendo como base a lista de salas que podem ser utilizadas durante o semestre para a alocação de disciplinas. As salas possuem tamanhos distintos, variando de salas com capacidade para 30 até salas com capacidade para 100 alunos. Uma sala pode ser reservada em um horário semanal fixo para ser utilizada para outros fins (eventos e reuniões) e portanto, não pode ser alocada para aulas naquele dia e horário. Também é utilizada como base para o processo de alocação a lista contendo as disciplinas que serão ofertadas ao longo do semestre, com as informações prévias do número de vagas, professor, turma, dias e horários da disciplinas.

A alocação das disciplinas nas salas, deve respeitar as seguintes restrições:

- Todos os pedidos de alocação precisam ser atendidos. No caso de impossibilidade por falta de salas no horário, é necessária a intervenção do responsável pelo planejamento para definir que mudanças deverão ser realizadas.
- As turmas devem ser alocadas nos horários solicitados.
- A sala selecionada para atender a uma turma deve comportar o número de alunos

solicitado pela turma.

- Cada sala pode ter no máximo uma disciplina em cada horário (*time slot*).

Também é desejável, porém não necessário, que a alocação atenda às seguintes restrições:

- Cada turma deve ser alocada na menor sala que comporte o número de vagas indicado.
- Cada turma deve ser alocada na mesma sala em todos os seus horários.
- Caso um professor dê aulas em horários consecutivos para turmas distintas, o ideal é que permaneça na mesma sala.
- Se, ao longo de todo o dia, há sobra no número de salas ocupadas, deve-se, preferencialmente, deixar a(s) mesma(s) sala(s) vazia(s) pelo maior tempo possível.

Assim, o problema pode ser modelado:

$$\min \quad f(h) = w_1 \times sala_{maior}(h) + w_2 \times prof_{consc}(h) + w_3 \times sala_{vaziat}(h) \quad (4.1)$$

$$+ w_4 \times sala_{vaziad}(h) \quad (4.2)$$

$$s.a. \quad nao_{atend}(h) = 0 \quad \forall h, \quad h \in H \quad (4.3)$$

$$sala_{menor}(h) = 0 \quad \forall h, \quad h \in H \quad (4.4)$$

$$hora_{sol}(h) = 0 \quad \forall h, \quad h \in H \quad (4.5)$$

$$turma_{slot}(h) = 0 \quad \forall h, \quad h \in H \quad (4.6)$$

onde H representa o conjunto de horários, $sala_{maior}$ representa quantidade de turmas alocadas em salas com capacidade maior que o solicitado, $prof_{consc}$ representa quantidade de professores com horários consecutivos alocados na mesma sala, $sala_{vaziat}$ representa a quantidade de turnos em que as salas estão vazias, $sala_{vaziad}$ representa a quantidade de dias em que as salas estão vazias, nao_{atend} representa a quantidade de turmas não alocadas, $sala_{menor}$ representa a quantidade de turmas alocadas em salas

com capacidade menor do que o solicitado, $hora_{sol}$ a quantidade de turmas alocadas em um horário diferente do solicitado, $turma_{slot}$ representa a quantidade de turmas que não atendem a restrição de *time slot*, e w_1 , w_2 , w_3 e w_4 são os pesos atribuídos a cada restrição fraca. É importante perceber que as restrições fracas são aqui combinadas para formar o função objetivo do problema de otimização.

Conforme mencionado nas seções anteriores, o atendimento de todas as restrições fortes é o critério que torna uma solução viável e o atendimento das restrições fracas é o critério de avaliação da qualidade da solução. O problema então consiste em achar uma solução ótima para o problema de Alocação de Salas no ICE, ou seja, um quadro de horários que atenda a todas as restrições fortes e viole o mínimo possível das restrições fracas. Deseja-se portanto minimizar o valor da função objetivo $f(x)$ definida na Equação 4.1, sujeito ao atendimento de todas as restrições fortes.

5 Implementações dos Métodos de Busca

Nessa seção são apresentadas as duas abordagens desenvolvidas, sendo uma baseada em Busca Local e outra em Algoritmos Genéticos para o Problema de Alocação de Salas no Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora. São abordadas as estruturas, representações da solução e operadores utilizados por ambas as abordagens. Ao final é apresentado uma explicação do funcionamento e um pseudocódigo de cada abordagem proposta.

5.1 Cálculo da Função Objetivo

Para ambos os métodos propostos (Algoritmos Genéticos e Busca Local) a função objetivo é definida com base no modelo apresentado no Capítulo 4 e suas equações 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6. As restrições fortes do problema são combinadas na forma da Equação 5.1.

$$R_{fortes} = v_1 \times nao_{atend}(h) + v_2 \times sala_{menor}(h) + v_3 \times hora_{sol} + v_4 \times turma_{slot}(h) \quad (5.1)$$

onde nao_{atend} representa a quantidade de turmas não alocadas, $sala_{menor}$ representa a quantidade de turmas alocadas em salas com capacidade menor do que o solicitado, $hora_{sol}$ a quantidade de turmas alocadas em um horário diferente do solicitado, $turma_{slot}$ representa a quantidade de turmas que não atendem a restrição de *time slot*, e v_1 , v_2 , v_3 e v_4 são os pesos atribuídos a cada restrição forte.

Portanto, para o cálculo do custo da operação foi utilizado um esquema de penalização estatística com o custo sendo igual ao valor da função objetivo subtraído do calculo das restrições fortes, ou seja, $custo(h) = f(h) - R_{fortes}(h)$ (o sinal negativo é utilizado para penalizar a função objetivo no custo). Os pesos das restrições fortes foram considerados maiores em módulo do que os pesos das restrições fracas. Por se tratar de um problema de minimização, quanto menor for o valor de R_{fortes} menos as restrições fortes estão sendo violadas e quanto o menor o valor de $f(x)$ menos as restrições fracas

estão sendo violadas.

5.2 Busca Local Aplicada ao PAS

Nessa seção é apresentado a representação da solução, as estruturas auxiliares utilizadas, os operadores de movimento, a heurística gulosa de obtenção de uma solução inicial, uma explicação do funcionamento e um pseudocódigo do algoritmo de Busca Local aplicado ao PAS.

5.2.1 Algoritmo de Busca Local Proposto

O algoritmo de Busca Local desenvolvido utiliza as estruturadas de representação descritas na Seção 5.2.2, bem como os operadores de movimento descritos na Seção 5.2.3 para explorar a vizinhança de uma solução. Um pseudocódigo do algoritmo pode ser visto no Algoritmo 3.

Algoritmo 3: Pseudocódigo do Algoritmo de Busca Local.

```

1 início
2   Inicializa a solução inicial;
3   enquanto Existirem turmas não alocadas ou o numero máximo de
   iterações sem melhora for atingido faça
4     Explorar a vizinhança da solução atual através operadores de
   movimento;
5     Calcular o custo das soluções encontradas;
6     Selecionar a solução de melhor custo encontrada;
7     se custo da solução atual < custo da melhor solução encontrada
   então
8       | Substitui a solução atual pela encontrada;
9     fim se
10  fim_enquanto
11  Retorna a solucao atual;
12 fim

```

O algoritmo começa a partir de uma solução inicial que pode ser tanto uma solução gerada através da heurística gulosa descrita na Seção 5.2.4, como podendo ser uma solução vazia, ou seja, com nenhuma turma alocada. A partir dessa solução inicial o algoritmo utiliza os operadores de alocação/desalocação e realocação para gerar as soluções que estão na vizinhança da solução inicial de acordo com a taxa de exploração

da vizinhança, que é definida previamente e representa uma porcentagem da vizinhança que será explorada pelos operadores de movimento. O valor da função objetivo de cada solução é calculado e a melhor delas é escolhida. Caso o valor da função objetivo da nova solução seja melhor que o da solução atual, ela se torna a nova solução atual e o processo se repete até que não haja mais turmas a serem alocadas ou o número máximo de iterações sem melhora do valor da função objetivo seja atingido.

5.2.2 Estruturas de Solução

O algoritmo de Busca Local implementado representa a solução através de uma estrutura matricial de alocação das disciplinas nas salas. Nessa estrutura, a primeira dimensão representa o conjunto de salas, a segunda representa o dia da semana e a terceira representa o horário (cada índice corresponde a um intervalo de 1 hora). Dessa forma, o valor presente em cada célula dessa estrutura contém a turma que está alocada em uma sala em um determinado dia e horário, tornando assim essa estrutura uma representação direta da alocação. Um exemplo ilustrativo dessa estrutura pode ser visto na Figura 5.1.

	Sala3	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
	Sala2	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
	Sala1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
08:00							
09:00				Turma 2			
10:00				Turma 2			
11:00	Turma 1			Turma 2			
12:00	Turma 1			Turma 2			
13:00							
14:00	Turma 3						
15:00	Turma 3						
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
23:00							

Diagrama de uma matriz de alocação de turmas. O eixo vertical (HORÁRIOS) varia de 08:00 a 23:00. O eixo horizontal (DIAS) varia de Sala3, Sala2, Sala1 para Segunda, Terça, Quarta, Quinta, Sexta, Sabado. O eixo diagonal (SALAS) indica a direção da alocação. Turmas 1, 2 e 3 são alocadas em horários específicos em determinadas salas.

Figura 5.1: Representação da estrutura de Solução da Busca Local.

Para facilitar o acesso aos dados e garantir que não seja preciso percorrer essa estrutura sempre que seja necessário realizar algum tipo de operação, outras estruturas auxiliares são utilizadas, tais como listas contendo informações sobre as turmas alocadas, as turmas não alocadas e as salas disponíveis por horário. Ao longo do processo de

execução, essas listas são constantemente modificadas para garantir que estejam sempre atualizadas com a solução corrente do problema. Exemplos dessas estruturas podem ser visto na Figura 5.2.

07:00	Sala 1	Sala 2	
08:00			
09:00	Sala 3	Sala 4	Sala 6
10:00			
11:00	Sala 1	Sala 3	

Turma 01	Sala 2
Turma 05	Sala 3
Turma 06	
Turma 09	Sala 1
Turma 10	

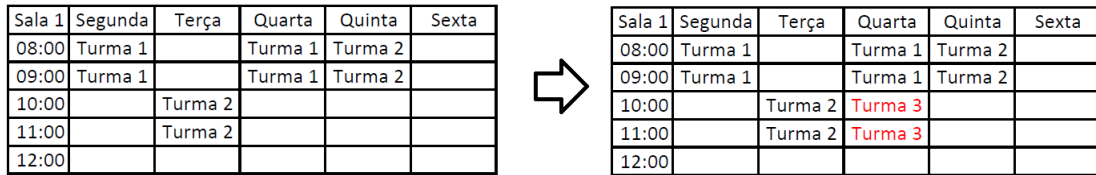
Figura 5.2: Exemplo de estruturas auxiliares.

5.2.3 Operadores de Movimento

Para realizar a busca pela vizinhança de uma solução, foram aplicados 3 operadores de movimento: Alocação (procurar soluções obtidas através da adição de uma nova turma não alocada ao quadro de alocação), Desalocação (procurar soluções obtidas através da remoção de uma turma presente no quadro de alocação) e Realocação (encontrar soluções geradas através da troca da salas em que as turmas estão alocadas).

A partir da solução atual, o Operador de Alocação seleciona de maneira aleatória uma turma (dentre aquelas que ainda não foram alocadas), uma sala (que esteja disponível no horário solicitado pela turma) e calcula a variação no valor da função objetivo de realizar a alocação da turma na sala. Esse processo se repete várias vezes e ao final retorna uma lista decrescente com base na variação da função objetivo, de forma que quanto mais uma operação diminui o valor da função objetivo, mais alta é a posição dela na lista. Um exemplo desse operador pode ser visto na Figura 5.3. Nela está representada uma parte da solução, sendo a imagem da esquerda a solução corrente e a imagem da direita a solução obtida após aplicar o Operador de Alocação. Nesse exemplo a Turma 3 (em vermelho) foi escolhida para ser adicionada na Sala 1 na quarta-feira na faixa de horário correspondente ao intervalo de dez ao meio dia.

No caso do Operador de Desalocação, é calculado a variação no valor da função objetivo de realizar a remoção de uma turma selecionada de maneira aleatória (dentre aquelas turmas que já foram alocadas) da solução. Esse processo se repete várias vezes

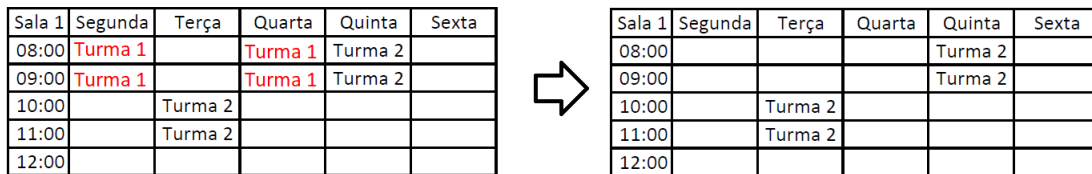


Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
09:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
10:00		Turma 2			
11:00		Turma 2			
12:00					

Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
09:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
10:00		Turma 2	Turma 3		
11:00		Turma 2	Turma 3		
12:00					

Figura 5.3: Operador de Alocação.

e ao final retorna uma lista decrescente com base na variação da função objetivo, de forma que quanto menos uma operação aumenta o valor da função objetivo, mais alta é a posição dela na lista. Um exemplo desse operador pode ser visto na Figura 5.4. Nela está representada uma parte do quadro de alocação, sendo a imagem da esquerda a solução corrente e a imagem da direita a solução obtida após aplicar o Operador de Desalocação. Nesse exemplo a Turma 1 (em vermelho) foi escolhida para ser removida da Sala 1, deixando a Sala 1 livre na segunda e quarta-feira na faixa de horário correspondente ao intervalo de oito às dez.



Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
09:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
10:00		Turma 2			
11:00		Turma 2			
12:00					

Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00				Turma 2	
09:00				Turma 2	
10:00		Turma 2			
11:00		Turma 2			
12:00					

Figura 5.4: Operador de Desalocação.

Já no caso do Operador de Realocação, que é uma combinação dos operadores anteriores, é calculado a variação no valor da função objetivo de realizar a remoção de uma turma selecionada aleatoriamente (dentre as turmas já alocas) e adiciona-la à uma outra sala selecionada aleatoriamente (dentre as outras salas diferentes da que a turma estava ocupando anteriormente). Esse processo se repete várias vezes e ao final retorna uma lista decrescente com base na variação da função objetivo, de forma que quanto mais uma operação diminui o valor da função objetivo, mais alta é a posição dela na lista. Um exemplo desse operador pode ser visto na Figura 5.5.

Na Figura 5.5 está representada uma parte do quadro de alocação, sendo a parte superior esquerda da imagem a solução corrente para a Sala 1, a parte superior direita a solução temporária obtida após aplicar o Operador de Desalocação, a parte inferior

Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
09:00	Turma 1		Turma 1	Turma 2	
10:00		Turma 2			
11:00		Turma 2			
12:00					

Sala 2	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00		Turma 3			
09:00		Turma 3			
10:00				Turma 3	
11:00				Turma 3	
12:00					

Sala 1	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00	Turma 1		Turma 1		
09:00	Turma 1		Turma 1		
10:00					
11:00					
12:00					

Sala 2	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00		Turma 3		Turma 2	
09:00		Turma 3		Turma 2	
10:00		Turma 2		Turma 3	
11:00		Turma 2		Turma 3	
12:00					

Figura 5.5: Operador de Realocação.

esquerda a solução corrente para a Sala 2 e a parte inferior direita a solução obtida após a aplicação do Operador de Realocação. Nesse exemplo a Turma 2 (em vermelho) foi escolhida para ser transferida da Sala 1 para a Sala 2, deixando a Sala 1 vazia e a Sala 2 ocupada na terça na faixa de horário correspondente ao intervalo de dez ao meio dia e na quinta na faixa de horário correspondente ao intervalo de oito às dez.

5.2.4 Heurística Gulosa

Para gerar uma solução inicial para o problema, foi utilizada uma heurística gulosa baseada na demanda de disciplinas por cada horário. Um pseudocódigo dessa heurística pode ser visto no Algoritmo 4.

Algoritmo 4: Pseudocódigo da Heurística Gulosa.

```

1 início
2   Calcular e atribuir pesos as turmas;
3   enquanto for possível alocar uma turma faça
4     Seleciona uma turma a ser alocada;
5     Aloca a turma na primeira sala disponível caso exista;
6   fim enquanto
7   Retorna a solução corrente;
8 fim
```

Inicialmente é contabilizado para cada combinação de dia e horário (segunda às oito horas por exemplo), o número de turmas que possuem aquele horário na lista de pedidos. Para cada turma, é calculado uma soma dos valores contabilizados no cálculo anterior, referentes aos seus horários. Assim são atribuídos pesos as turmas de forma

que, quanto maior o valor da soma da turma, maior o peso atribuído a ela. O algoritmo guloso então seleciona uma turma da lista de pedidos e a aloca na primeira sala disponível. Essa seleção é feita através de um sorteio ponderado, onde as turmas com maiores pesos possuem uma chance maior de serem selecionadas. Esse processo de seleção se repete até que não seja mais possível alocar uma turma em uma sala. Dessa forma não é possível garantir ao final da execução desse algoritmo guloso que todas as turmas foram alocadas e que a solução obtida seja factível, porém essa solução é obtida de maneira rápida e é um ponto de partida para o algoritmo de Busca Local.

5.3 Algoritmos Genéticos Aplicados ao PAS

Nessa seção é apresentado a representação dos indivíduos, os operadores genéticos, a heurística de refinamento de solução, uma explicação do funcionamento e um pseudocódigo do algoritmo genético proposto para o PAS.

5.3.1 Algoritmo Genético Proposto

Para resolver o problema de Alocação de Salas foi proposto um Algoritmo Genético que utiliza a representação indireta do indivíduo descrita na Seção 5.3.2 e os operadores de movimentos descritos na Seção 5.3.3. Um pseudocódigo desse algoritmo pode ser visto no Algoritmo 5.

Algoritmo 5: Pseudocódigo do Algoritmo Genético Implementado.

```
1 Gerar população inicial aleatória;
2 enquanto número de gerações máximo não for atingido faça
3   Selecionar indivíduos progenitores;
4   Selecionar e aplicar um mecanismo de recombinação;
5   Selecionar e aplicar um mecanismo de mutação;
6   Adicionar os indivíduos gerados na população;
7   para cada indivíduo na população faça
8     Criar a alocação do indivíduo;
9     Calcular o fitness de cada indivíduo;
10  fim para cada
11  Selecionar os melhores indivíduos para a próxima geração;
12 fim enquanto
13 Retornar o melhor indivíduo;
```

O algoritmo começa gerando indivíduos aleatoriamente para compor a população inicial. A partir dessa população, são selecionados dois indivíduos aleatoriamente, que serão utilizados na aplicação dos operadores genéticos. A aplicação desses operadores é feita com base nas probabilidades de recombinação e mutação e a seleção de qual operador será aplicado é feita de maneira aleatória através de um sorteio. No caso dos operadores de mutação, a aplicação é feita de maneira independente para cada um dos indivíduos e em ao menos um dos indivíduos será aplicado um operador. Sendo assim diferentes operadores de mutação podem ser aplicados em cada um dos indivíduos. Após a aplicação dos operadores, é realizado um procedimento de busca local nos indivíduos gerados de acordo com a taxa de busca local e eles são adicionados a população. Para cada indivíduo presente na população intermediária (população atual acrescida dos novos indivíduos gerados no passo anterior), é feito o procedimento de alocação das turmas, que consiste em atribuir uma turma a uma sala que esteja disponível no horário solicitado, seguindo a ordem dos genes do indivíduo. Com base na alocação gerada nesse processo, é calculado o fitness de cada indivíduo. Os indivíduos então são ranqueados de acordo com o seu fitness e uma nova população com o tamanho da original é gerada contendo os melhores indivíduos. Todo o processo se repete até que o número máximo de gerações seja atingido e o algoritmo retorna o melhor indivíduo.

5.3.2 Representação do Indivíduo

Existem várias formas de representação dos indivíduos em um Algoritmo Genético, sendo que a mais simples e também a mais usada é a forma binária mostrada na Seção 2.2.2. Outra forma de representação cromossômica que pode ser utilizada para problemas de otimização combinatória é a representação através de uma permutação dos elementos, formando uma lista onde a solução do problema está diretamente relacionada com a ordem que os elementos aparecem nela. Esse tipo de representação indireta foi a escolhida para o presente trabalho.

Cada indivíduo então é representado por uma lista em que cada elemento corresponde a uma turma diferente (sem repetição) da lista de pedidos e a ordem de percurso da lista corresponde a sequência em que as turmas serão atribuídas as salas no processo

de alocação. Dessa forma, o tamanho de cada indivíduo é igual ao tamanho da lista de pedidos. Um exemplo dessa representação pode ser visto na Figura 5.6. Nesse exemplo é considerado que a lista de pedidos contem 6 turmas, numeradas de um a seis. Durante o processo de alocação, as turmas seriam adicionadas começando pela Turma 1, seguido da Turma 4, Turma 6, Turma 5, Turma 3 e por fim Turma 2.

Turma 1	Turma 4	Turma 6	Turma 5	Turma 3	Turma 2
---------	---------	---------	---------	---------	---------

Figura 5.6: Representação do Indivíduo.

5.3.3 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos são mecanismos que combinam e/ou alteram as informações do genótipo de um ou mais indivíduos para produzir descendentes. Os operadores de recombinação usualmente selecionam parte dos genes dos indivíduos progenitores e os recombinam formando novos indivíduos. Já os operadores de mutação geralmente selecionam um indivíduo progenitor e alteram genes desse indivíduo gerando um novo indivíduo. Para esse trabalho foram implementados quatro operadores de recombinação (SASTRY; GOLDBERG; KENDALL, 2005) e três operadores de mutação (MICHALEWICZ, 1996), sendo eles: Recombinação de Um Ponto, Recombinação Linear, Recombinação Parcialmente Mapeada, Recombinação em Ordem, Mutação de Deslocamento, Mutação Emparelhada e Mutação Inversa.

No operador de Recombinação de Um Ponto, um ponto de corte é selecionado aleatoriamente em um pai e os dados que o antecedem são copiados para o filho. Os dados situados após esse ponto de corte são preenchidos pelos dados do outro pai, preservando a ordem e a não repetição dos elementos na geração do filho. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.7. Nela os pais estão representados à esquerda, sendo o indivíduo na parte superior o pai escolhido para receber o ponto de corte (representado pela linha vermelha) e o indivíduo inferior o pai que irá complementar o restante do indivíduo (com os dados em vermelho). A direita está o filho gerado após a aplicação do operador.

No Operador de Recombinação Linear, dois pontos de corte são selecionados

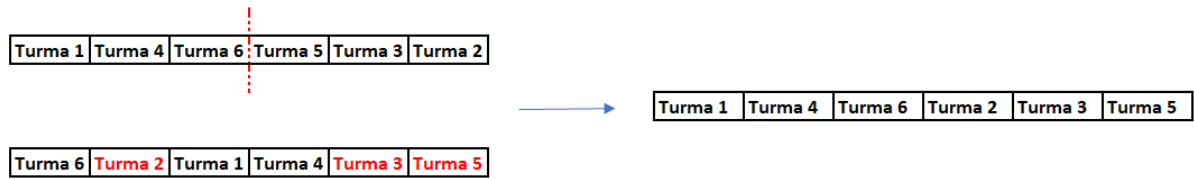


Figura 5.7: Exemplo Recombinação de Um Ponto.

aleatoriamente em um pai e os dados entre esses pontos de corte são copiados para o filho. Os dados restantes são preenchidos pelos dados do outro pai, preservando a ordem e a não repetição dos elementos na geração do filho. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.8. Nela os pais estão representados a esquerda, sendo o indivíduo na parte superior o pai escolhido para receber os pontos de corte (representados pelas linhas vermelhas) e o indivíduo inferior o pai que irá complementar o restante do indivíduo (com os dados em vermelho). A direita está o filho gerado após a aplicação do operador.

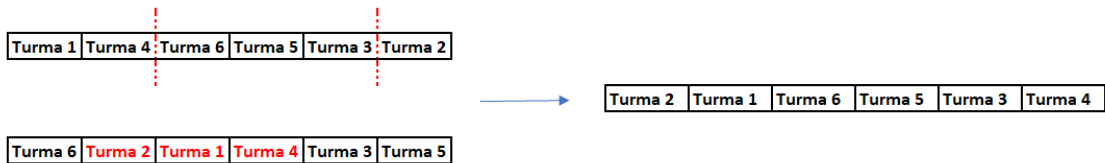


Figura 5.8: Exemplo Recombinação Linear.

No Operador de Recombinação Parcialmente Mapeada, assim como no Operador de Recombinação Linear, dois pontos de corte são selecionados aleatoriamente em um pai e os dados desse intervalo são copiados para o filho. Os dados restantes são copiados para o filho nas posições que não estão no intervalo do corte. Os valores duplicados são substituídos fazendo um mapeamento de valor entre as posições dos pais até encontrar um valor que ainda não esteja no filho. Esse valor então é copiado para o filho até que todas as posições estejam completas e sem repetições. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.9. Na parte esquerda da figura estão representados os pais sendo o indivíduo na parte superior o pai escolhido para receber os pontos de corte (representados pelas linhas vermelhas) e o indivíduo inferior o pai que irá complementar o restante do indivíduo (com os dados em vermelho). Na parte superior direita está o filho intermediário gerado com as duplicatas e na parte inferior direita está o filho gerado após a eliminação

dos valores duplicados, sendo este o indivíduo gerado após a aplicação do operador.

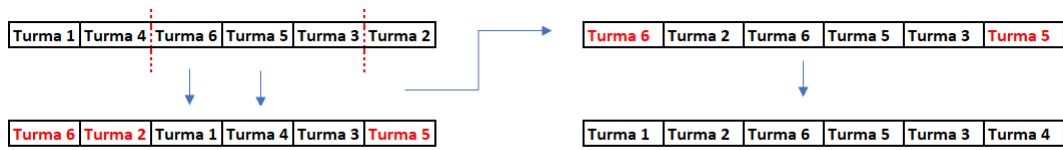


Figura 5.9: Exemplo Recombinação Parcialmente Mapeada.

No Operador de Recombinação em Ordem, um subconjunto de dados são selecionados de um dos pais e copiados para o filho. Os dados restantes são preenchidos pelos dados do outro pai, preservando a ordem e a não repetição dos elementos na geração do filho. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.10. Nela os pais estão representados à esquerda, sendo o indivíduo na parte superior o pai que terá um subconjunto dados selecionado (com os dados em vermelho) e o indivíduo inferior o pai que irá complementar o restante do indivíduo (com os dados em vermelho). A direita está o filho gerado após a aplicação do operador.

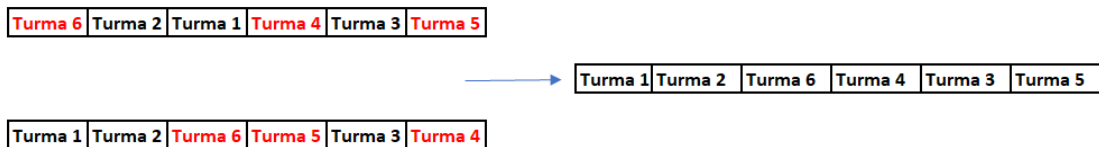


Figura 5.10: Exemplo Recombinação em Ordem.

No Operador de Mutação de Deslocamento, um elemento e um ponto de inserção são selecionados do pai. O elemento selecionado é transferido para a posição referente a esse ponto e os demais dados são deslocados. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.11. Nela o pai é apresentado à esquerda da figura, com o ponto de inserção (representado pela linha vermelha) e o dado selecionado (em vermelho). A direita está o filho gerado após a aplicação do operador.

No Operador de Mutação Emparelhada, dois elementos são selecionados do pai e são trocados de posição. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.12. Nela a esquerda esta representado o pai com os dados selecionados para serem trocados (dados em vermelho) e a direita está o filho gerado após a aplicação do operador.

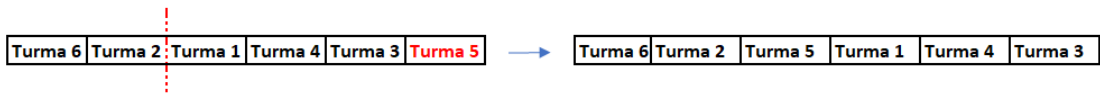


Figura 5.11: Exemplo Mutação de Deslocamento.



Figura 5.12: Exemplo Mutação Emparelhada.

No Operador de Mutação Inversa, dois pontos de corte são selecionados do pai e a ordem dos dados entre eles é invertida. Um exemplo desse processo pode ser visto na Figura 5.13. Nela a esquerda está representado o pai com os pontos de corte selecionados (linhas em vermelho) e os dados que serão invertidos (dados em vermelho). A direita está o filho gerado após a aplicação do operador de Mutação Inversa.

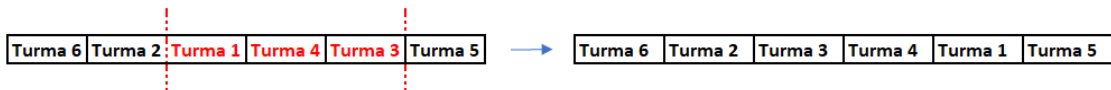


Figura 5.13: Exemplo Mutação Inversa.

5.3.4 Heurística de Busca Local

Para realizar um processo de refinamento na população gerada ao longo do processo de execução do AG proposto, foi implementada uma nova heurística de Busca Local, que utiliza a mesma representação indireta de solução através de uma lista que o AG utiliza. Um pseudocódigo desse procedimento de Busca Local pode ser visto no Algoritmo 6.

A partir de um indivíduo, o processo de Busca Local seleciona um número de genes do indivíduo, de acordo com um valor de porcentagem previamente estabelecido, que serão removidos desse indivíduo. Depois, para cada gene removido, são testadas todas as opções de local onde esse gene poderia ser reinserido no indivíduo, sendo escolhida a melhor dessas posições de acordo com o cálculo do fitness. Esse processo se repete até que o indivíduo esteja com todos os genes completos.

Algoritmo 6: Heurística de Busca Local.

```
1 início
2   Escolher aleatoriamente genes do individuo;
3   Remover as posições selecionadas do individuo;
4   para cada valor removido faça
5     Calcular o custo de cada possibilidade de inserção do valor no
6     indivíduo;
7     Inserir o valor na melhor posição encontrada;
8   fim para cada
9   Retorna o individuo;
fim
```

6 Experimentos Computacionais

Nesse trabalho foram propostos dois modelos baseado em meta-heurísticas² para resolver o Problema de Alocação de Salas no Instituto de Ciências Exatas, sendo um baseado em Busca Local e outro em Algoritmos Genéticos. Ambos possuem duas implementações diferentes, sendo que para a Busca Local as versões se diferem pela forma de obtenção da solução inicial, com uma iniciando de uma solução vazia e outra utilizando o procedimento descrito na Seção 5.2.4. Para os Algoritmos Genéticos a diferença entre as implementações está na utilização do procedimento de refinamento do indivíduo, com uma versão não utilizando o procedimento e outra utilizando o procedimento descrito na Seção 5.3.4. As meta-heurísticas de Busca Local foram implementadas em JAVA, os Algoritmos Genéticos foram implementados em Python e a mesma instância foi utilizada para todos os algoritmos implementados, conforme descrito na seção 7.1.

6.1 Dados do PAS

Nesse trabalho foi utilizado um caso real para o PAS, referente aos dados do segundo semestre de 2016 (2016.3) do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora. A instância utilizada possui 261 pedidos de disciplinas que incluem graduação e pós-graduação, sendo 108 pedidos de disciplinas para turmas de até 60 vagas e 153 pedidos de disciplinas para turmas de 100 vagas. O número de salas disponíveis foi de 27 salas, sendo 15 salas com capacidade para 60 alunos e 12 salas com capacidade para 100 alunos. Cada pedido é composto do código, nome, professor, departamento, número de vagas e horários da disciplina. Cada disciplina possui duração mínima de uma hora e sempre se inicia em um horário inteiro, variando de 07 horas até as 23 horas e de Segunda a Sábado. As turmas que necessitam de algum tipo de recurso especial, como as turmas de laboratório, não foram consideradas pois elas necessitam ser alocadas em salas específicas e possuem um controle diferente.

²Disponível em: <https://github.com/MarcosChindelar/AlocadorSalas>

6.2 Parâmetros

Os parâmetros considerados no cálculo da função objetivo podem ser vistos no Capítulo 4 e seus valores utilizados para a avaliação das funções objetivo do problema podem ser vistos na Tabela 6.1. Os parâmetros foram definidos com base em testes preliminares.

Tabela 6.1: Parâmetros do cálculo da função objetivo.

Parâmetro	Valor
Nao Atendimento	300
Atendimento em sala maior	50
Sala vazia no dia	40
Sala vazia no turno	10
Professor em sala consecutiva	20

Para os algoritmos implementados, também foram feitos testes preliminares para definir os valores dos parâmetros para a realização dos experimentos. Dessa forma alguns parâmetros tiveram seus valores fixados e o para os demais, foi escolhida uma faixa de valores que eles poderiam assumir, durante a execução dos experimentos. Para as implementações da Busca Local, os parâmetros e suas variações podem ser vistos na Tabela 6.2. O parâmetro Número Máximo de Iterações indica o número máximo de iterações do algoritmo, o Número de Iterações Sem Melhora indica o número máximo de execuções que o algoritmo pode fazer sem que haja uma melhora da função objetivo e a Taxa de Exploração indica o quanto da vizinhança da solução será explorada pelo algoritmo. Os parâmetros da tabela que apresentam um único valor são os que tiveram seu valor fixado na etapa de testes e os que apresentam mais de um valor possível são aqueles escolhidos para serem variados na etapa de teste.

Tabela 6.2: Parâmetros Busca Local.

Parâmetro	Valor
Número Máximo de Iterações	100000
Número de Iterações Sem Melhora	500
Taxa de Exploração	0.1/0.2/0.3

Os parâmetros dos Algoritmos Genéticos podem ser vistos na Tabela 6.3. O parâmetro Número de Gerações indica o número máximo de iterações do algoritmo, o Tamanho da População indica o número de indivíduos de cada geração, a Taxa de Filhos Gerados indica o número de filhos que serão gerados com a aplicação dos operadores a

cada geração, as Taxa de Recombinação e Mutação indicam a frequência de aplicação dos operadores de recombinação e mutação respectivamente e a Taxa de Busca Local indica o quanto da vizinhança de cada indivíduo será explorada. Os parâmetros da tabela que apresentam um único valor são os que tiveram seu valor fixado e os que apresentam mais de um valor possível são aqueles escolhidos para serem variados nas etapas de testes preliminares.

Tabela 6.3: Parâmetros Algoritmo Genético.

Parâmetro	Valor
Número de Gerações	100000
Tamanho da População	50
Taxa de Filhos Gerados	50
Taxa de Recombinação	0.7/0.8/0.9
Taxa de Mutação	1.0
Taxa de Busca Local	0.0/0.01/0.05

Para definir a melhor opção de valores dos parâmetros para cada um dos algoritmos, cada possível configuração do algoritmo de acordo com os valores possíveis de cada parâmetro foi executada 10 vezes. Para realizar a comparação entre os resultados obtidos pelos algoritmos, foi estabelecido como limite de execução o número de avaliações da função objetivo, definido como sendo 1000000 para todas as execuções.

6.3 Análise dos Resultados

Com base nos testes, a melhor opção para a Busca Local foi utilizá-la com a heurística gulosa de obtenção de uma solução inicial e com uma Taxa de Exploração de 0.3. Para o Algoritmo Genético a melhor opção foi de utilizá-lo com uma Taxa de Recombinação de 0.8 e em conjunto com a heurística de busca local com uma Taxa de Busca Local de 0.01. Definidos esses valores dos parâmetros, os dois algoritmos foram executados 30 vezes seguindo o mesmo critério de parada de avaliações da função objetivo definido na Seção 6.2.

Para realizar a comparação entre os resultados obtidos pelos algoritmos com a solução manual, foram feitas algumas modificações na solução manual de forma a resolver as inconsistências apresentadas por ela, tais como turmas diferentes alocadas em uma

mesma sala e horário simultaneamente, turmas não alocadas e turmas alocadas em salas inexistentes.

As modificações foram feitas alocando as turmas nas melhores posições possíveis. Para isso foram feitos testes englobando todas as possibilidades de inserção das turmas sem remover as que já estavam alocadas corretamente. Dessa forma, para cada turma que estava alocada em uma mesma sala com outra turma, foram testadas todas as possibilidades de inserção para ambas as turmas em salas que tivessem o horário vazio e a melhor opção com base no cálculo da função objetivo era escolhida, deixando uma das turmas na sala e outra na nova sala escolhida. Para cada turma alocada em uma sala inexistente ou não alocada, foram testadas todas as possibilidades de inserção das turmas em salas que tivessem o horário vazio e a melhor opção de alocação foi escolhida.

Tabela 6.4: Análise dos resultados obtidos.

Algoritmo	Melhor Sol.	Mediana	Média	Desv. Padrão	Pior Sol.
BL+HG	-4980.00	-4595.00	-4591.33	284.16	-4120.00
AG+BL	-6690.00	-6190.00	-6012.00	431.88	-5230.00

Uma comparação dos resultados obtidos pelos algoritmos com as configurações de parâmetros descritas anteriormente e uma comparação dos valores dos componentes da função objetivo podem ser vistos nas Tabela 6.4 e Tabela 6.5 respectivamente. Nelas, a sigla "BL+HG" representa o Algoritmo de Busca Local com a utilização da Heurística Gulosa e "AG+BL" representa o Algoritmo Genético com a utilização da Heurística de Busca Local. Os resultados apresentados para ambos os algoritmos foram calculados com base no valor da função objetivo das soluções factíveis encontradas ao longo das execuções de testes.

Os resultados apresentados na Tabela 6.4 mostram que o AG+BL tem um desempenho em média melhor que o BL+HG, apresentando também um pior resultado melhor que a melhor solução obtida pelo BL+HG. Apesar do melhor desempenho, os resultados do AG+BL apresentam um desvio padrão maior que os resultados apresentados pelo BL+HG. Quando comparados com a solução manual, ambos apresentam melhores resultados, mesmo com as correções das incoerências apresentadas por ela. Quando analisadas as restrições fracas, o AG+BL têm o melhor desempenho, alocando os professores que possuem horários consecutivos na mesma sala e utilizando o menor número de salas

possível e com capacidade adequada com a solicitada pela turma como pode ser visto na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Análise dos componentes da função objetivo.

Componente	AG+BL	BL+HG
Professor Consecutivo	13,77	5,00
Sala Maior	0,00	6,67
Turnos Livres	204,70	83,53
Dias Livres	30,67	16,48

A Tabela 6.5 apresenta os valores médios de cada componente presente no cálculo da função objetivo dos algoritmos. Conforme mencionado, os valores foram obtidos nas 30 execuções de testes realizadas e considerando apenas as soluções factíveis encontradas. Nela, o componente Professor Consecutivo representa o número de professores com horários consecutivos alocados na mesma sala, Sala Maior representa a quantidade de turmas alocadas em salas com capacidade maior do que o solicitado, Turnos Livres representa a quantidade de turnos sem uma turma alocada e Dias livres representa a quantidade dias inteiros que ficaram sem nenhuma turma alocada.

Como pode ser visto na Tabela 6.5 o AG+BL apresenta um melhor desempenho médio em cada componente, alocando mais que o dobro de professores com horários consecutivos na mesma sala, quando comparado com o BL+HG. No quesito de utilização de salas maiores o AG+BL não alocou turmas em salas de capacidade maior, evitando assim a sobra de vagas. Já o BL+HG, acabou alocando algumas turmas em salas com capacidade superior ao solicitado. A quantidade de turnos livres na solução encontrada pelo AG+BL também é maior que o dobro do encontrado pelo BL+HG, mostrando que as soluções encontradas pelo AG+BL utilizam melhor as salas disponíveis, deixando algumas delas sem utilização. Esse último fator está diretamente ligado aos componentes de turnos e dias livres uma vez que as turmas estão distribuídas em menos salas e por consequência acabam deixando algumas salas vazias e disponíveis para serem utilizadas para outros fins como reuniões e eventos.

Os valores apresentados na Tabela 6.5 corroboram com os apresentados anteriormente na Tabela 6.4, mostrando mais detalhadamente o motivo dos valores das soluções encontradas pelo AG+BL serem melhores que os encontrados pelo BL+HG.

Utilizando o teste estatístico de comparação não paramétrico de Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952) com as soluções obtidas pelos dois algoritmos, encontramos um valor de $p = 2.8468 \times 10^{-11}$. Portanto, o AG+BL é melhor que o BL+HG do ponto de vista estatístico. Um *boxplot* com as soluções pode ser visto na Figura 6.1. Nele no eixo horizontal estão os algoritmos e no eixo vertical os valores das soluções.

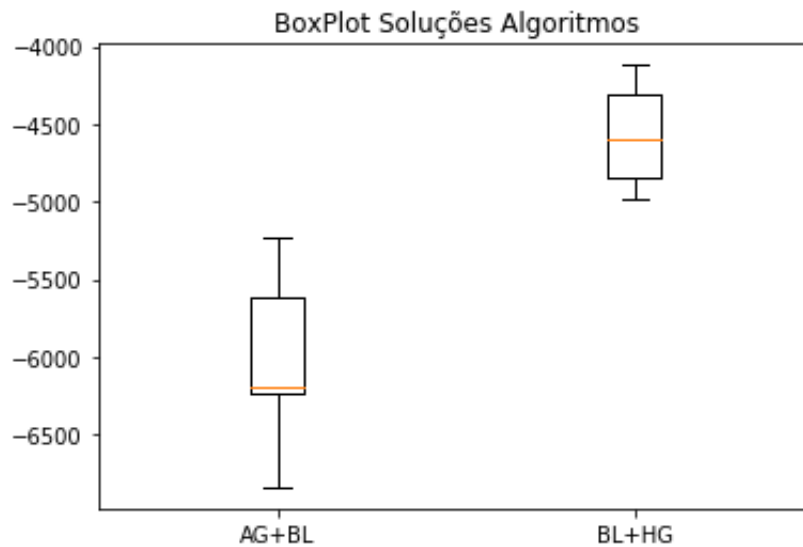


Figura 6.1: Boxplot das soluções obtidas pelo Algoritmo Genético e Busca Local.

Como pode ser visto no gráfico, não há interseção entre os valores, o que reforça o melhor desempenho do AG+BL comparado com o BL+HG. Também é possível observar que a mediana (representada pela linha amarela horizontal) do AG+BL está mais abaixo, o que mostra que maior parte dos valores de solução encontrados por ele apresentam um valor mais baixo e por consequência melhor. Quando comparados com a solução manual, ambos algoritmos apresentam um melhor desempenho. Caso a solução manual fosse inserida no gráfico, ficaria acima de ambos os algoritmos devido ao seu valor ser positivo ao contrário dos valores encontrados pelos algoritmos. A solução manual encontra-se no Apêndice A. A melhor solução encontrada pelo algoritmo AG+BL encontra-se no Apêndice B e a melhor solução encontrada pelo algoritmo BL+HG encontra-se no Apêndice C.

7 Conclusão e Trabalhos Futuros

Como foi visto durante o trabalho o Problema de Alocação de Salas (PAS) é um problema de otimização combinatória e dessa forma a obtenção de uma solução ótima em um tempo computacional aceitável não é possível. Devido a isso os métodos heurísticos são muito utilizados por alcançarem boas soluções em um tempo computacional razoável. Nesse trabalho foi abordado o PAS aplicado a realidade do Instituto de Ciências Exatas (ICE) da Universidade Federal de Juiz de Fora. Para resolvê-lo foram propostos duas abordagens: uma baseada em Busca Local e outra baseada em Algoritmos Genéticos. Para ambas foram feitos testes para definir quais os parâmetros seriam utilizados por elas.

Definidos os melhores parâmetros para cada abordagem elas foram aplicadas em uma instância de um caso real do ICE e foram feitos testes para medir o desempenho das soluções obtidas por elas. Os resultados obtidos mostram que o algoritmo genético proposto apresenta um desempenho melhor do que o algoritmo de busca local. Pelos testes também é possível observar que quando comparados com a solução manual, ambos os métodos apresentam melhores soluções. Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis nas soluções encontradas pelos métodos, os algoritmos genéticos também apresentaram um melhor desempenho do ponto de vista estatístico.

Como trabalho futuro, será feita uma análise mais detalhada da utilização de cada um dos operadores de recombinação e mutação implementados para o algoritmo genético. Também serão propostos novos operadores de movimento para a meta-heurística de busca local. Um estudo sobre a utilização de outras meta-heurísticas com diferentes abordagens (como a multiobjetivo) é algo que pode ser explorado. Uma outra abordagem para o problema que permita uma maior flexibilização dos horários com disciplinas sem horários previamente definidos, com a utilização de outros tipos de salas (como laboratórios e outras salas com recursos específicos) e com a definição dos horários feita pelo próprio algoritmo também é uma opção a ser estudada.

Bibliografia

AKKAN, C.; GULCU, A. A bi-criteria hybrid genetic algorithm with robustness objective for the course timetabling problem. *Computers & Operations Research*, v. 90, p. 22 – 32, 2018. ISSN 0305-0548. Disponível em: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054817302307>).

ALAYKIRAN, K.; HACIBEYOGLU, M. Using iterated local search to solve the course timetabling problem at engineering faculty of necmettin erbakan university. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Engineering Research Publication, v. 3, n. 12, 2016. ISSN 23943661.

ALVES, R. H. de J. *Metaheurísticas Aplicadas ao Problema de Horário Escolar*. Dissertação (Mestrado) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2010.

BARBOSA, S. H. D. *Resolução do Problema de Programação de Cursos Universitários Baseada em Currículos via Meta-heurísticas*. Dissertação (Mestrado) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2011.

BARDADYM, V. A. Computer-aided school and university timetabling: The new wave. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). *Practice and Theory of Automated Timetabling*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 22–45. ISBN 978-3-540-70682-3.

BASIR, N.; ISMAIL, W.; NORWAWI, N. M. A simulated annealing for tahmidi course timetabling. *Procedia Technology*, v. 11, p. 437 – 445, 2013. ISSN 2212-0173. 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI 2013.

B.COOPER, T.; H.KINGSTON, J. The complexity of timetable construction problems. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). *Practice and Theory of Automated Timetabling*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 281–295. ISBN 978-3-540-70682-3.

CHU, S.-C.; CHEN, Y.-T.; HO, J.-H. Timetable scheduling using particle swarm optimization. In: *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*. Beijing, China: IEEE, 2006. v. 3, p. 324–327. ISSN 0-7695-2616-0.

CIRINO, R. B. Z. *Abordagens de Solução para o Problema de Alocação de Aulas a Salas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2016.

CISCON, L. A. et al. O problema de geração de horários: Um foco na eliminação de janelas e aulas isoladas. In: *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Gramado, Rio Grande do Sul: SOBRAPO, 2005.

DAMMAK, A. et al. Course timetabling at a tunisian university: A case study. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, v. 17, p. 334–352, 09 2008.

DUARTE, A. I. F. *Afetação de Salas para Realização de Provas de Avaliação : uma Aplicação no ISEG*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Lisboa, 2018.

EIKELDER, H. M. M. ten; WILLEMEN, R. J. Some complexity aspects of secondary school timetabling problems. In: BURKE, E.; ERBEN, W. (Ed.). *Practice and Theory of Automated Timetabling III*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 18–27. ISBN 978-3-540-44629-3.

GARCÍA, F. J. M.; MORENO-PÉREZ, J. Jumping frogs optimization: a new swarm method for discrete optimization. *Technical Report DEIOC*, 01 2008.

GÓES, A. R. T. *Otimização na Distribuição da Carga Horária de Professores-Método Exato, Método Heurístico, Método Misto e Interface*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, 2005.

HAMAWAKI, C. D. L. *Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press, 1975.

ISLAM, T. et al. University timetable generator using tabu search. *Journal of Computer and Communications*, v. 4, p. 28–37, 12 2016.

KAZARLIS, S.; PETRIDIS, V.; FRAGKOU, P. Solving university timetabling problems using advanced genetic algorithms. In: *5th International Conference On Technology And Automation*. Thessaloniki, Greece: 2015.

KRIPKA, R. M. L.; KRIPKA, M.; SILVA, M. C. da. Formulação para o problema de alocação de salas de aula com minimização de deslocamentos. In: *XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Ubatuba, São Paulo: SOBRAPO, 2011.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, American Statistical Association, Taylor & Francis, Ltd., v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952. ISSN 01621459.

LEITE, M. R. C. de O.

Software para o Problema de Alocação de Salas no ICE — Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

LEWIS, R. A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems. *OR Spectrum*, v. 30, n. 1, p. 167–190, Jan 2008. ISSN 1436-6304. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0097-0>.

MACHADO, A. M.; BOERES, M. C. S. Uma proposta de formulação do problema de programação de tabela-horário de exames de toronto via coloração de grafos e sua resolução pelo algoritmo de busca tabu. *XLI SBPO-Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*, 2009.

MICHALEWICZ, Z. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. 3rd. ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. ISBN 3-540-60676-9.

MORAIS, R. R. de; SILVA, D. A. Modelagem para alocação de salas de aula em uma instituição de ensino superior. In: *VII Congresso Virtual Brasileiro - Administração*. São José dos Campos, SP: Editora Independente, 2014.

- MOURA, A.; SCARAFICCI, R. A. A grasp strategy for a more constrained school timetabling problem. *International Journal of Operational Research*, v. 7, 01 2010.
- PESSOA, A. L. D. S. et al. Uma aplicação de algoritmos genéticos simples e compacto para estimação de componentes harmônicas. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 7, 05 2015.
- PRADO, A. S. *Problema de Alocação de Salas em Cursos Universitários: Um Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2014.
- RAGHAVJEE, R.; PILLAY, N. A comparative study of genetic algorithms using a direct and indirect representation in solving the south african school timetabling problem. In: *42th Operations Research Society of South Africa*. South Africa, Stellenbosch: ORSSA, 2013.
- RIBEIRO, D. M.; AIZEMBERG, L.; UCHOA, E. Geração de grade de horários para disciplinas de uma instituição de nível superior utilizando programação linear inteira multi-objetivo. In: *XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. RN, Natal: SOBRAPO, 2013.
- RIBEIRO, L. de A. Algoritmo evolutivo multi-objetivo em tabelas para seleção de variáveis em classificação multivariada. 2014.
- SALES, E. dos S. *Problema de Alocação de Salas e a Otimização dos Espaços do Centro Tecnológico da UFSM*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- SALES, E. dos S.; MULLER, F. M.; SIMONETTO, E. de O. Solução do problema de alocação de salas utilizando um modelo matemático multi-Índice. In: *XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Porto de Galinhas, Pernambuco: SOBRAPO, 2015.
- SANTOS, H. G.; SOUZA, M. J. F. Programação de horários em instituições educacionais: Formulações e algoritmos. In: *XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Ceara, Fortaleza: SOBRAPO, 2007. p. 2827–2882. ISBN 1518-1731.
- SASTRY, K.; GOLDBERG, D.; KENDALL, G. Genetic algorithms. In: *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Boston, MA: Springer US, 2005. cap. 4, p. 97–125. ISBN 978-0-387-28356-2.
- SCALDELAI, D.; VICTOR, A. Gerador de grade de horário escolar por meio de múltiplas metaheurísticas grasp. In: *Proceedings of the 11 International Conference on User Modeling*. Curitiba: ACM, 2014.
- SILVA, A. S. N. e; SAMPAIO, R. M.; ALVARENGA, G. B. Uma aplicação de simulated annealing para o problema de alocação de salas. *INFOCOMP*, 2005.
- SILVEIRA, J. A. dos S. *Uso de Abordagem Heurística para o Problema do Quadro de Horários e Alocação de Salas de Aula*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- SOARES, H. C. de A. *Um estudo sobre o Problema de Alocação* — Universidade Federal de São Paulo, 2011.

SOCHA, K.; KNOWLES, J.; SAMPELS, M. A max-min ant system for the university course timetabling problem. In: DORIGO, M.; CARO, G. D.; SAMPELS, M. (Ed.). *Ant Algorithms*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 1–13. ISBN 978-3-540-45724-4.

SOUZA, M. J. F. *Programação de horários em escolas: uma aproximação por metaheurísticas*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SOUZA, M. J. F.; COSTA, F. P. da; GUIMARÃES, I. F. G. Um algoritmo evolutivo híbrido para o problema de programação de horários em escolas. *Computer*, 2002.

SUBRAMANIAN, A. et al. Aplicação da metaheurística busca tabu na resolução do problema de alocação de salas do centro de tecnologia da ufpb. Fortaleza, Ceará, 2006. ISSN 2594-9713.

TIMÓTEO, G. T. S. *Análise do Problema de Grades Horárias Escolares Via Algoritmos Evolucionários Multi-Objetivo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

A Anexo I: Alocação Manual Ajustada

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3104	7						
3104	8	QUI009A		QUI009A			
3104	9	QUI009A		QUI009A			
3104	10		FIS098A	FIS031A	FIS098A	FIS031A	
3104	11		FIS098A	FIS031A	FIS098A	FIS031A	
3104	12						
3104	13						
3104	14		QUI097A	MAT122A	QUI097A	MAT122A	
3104	15		QUI097A	MAT122A	QUI097A	MAT122A	
3104	16	QUI104A	QUI104A				
3104	17	QUI104A	QUI104A				
3104	18						
3104	19	DCC134A					
3104	20	DCC134A					
3104	21			DCC134A			
3104	22			DCC134A			
3105	7						
3105	8	QU5106A				MA35A	MA35A
3105	9	QU5106A				MA35A	MA35A
3105	10	QU5106A	EST043A		EST043A	MA35A	MA35A
3105	11	QU5106A	EST043A		EST043A	MA35A	MA35A
3105	12						
3105	13						
3105	14	202006A	EST020A	QUI102A	EST020A	MA23A	MA23A
3105	15	202006A	EST020A	QUI102A	EST020A	MA23A	MA23A
3105	16	202006A		QUI102A		MA23A	MA23A
3105	17	202006A		QUI102A		MA23A	MA23A
3105	18						
3105	19						
3105	20						
3105	21						
3105	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3106	7						
3106	8	FIS051A	FIS105A			FIS051A	
3106	9	FIS051A	FIS105A			FIS051A	
3106	10		ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3106	11		ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3106	12						
3106	13						
3106	14		QUI131A	FIS105A	QUI131A		
3106	15		QUI131A	FIS105A	QUI131A		
3106	16		MAT105B		MAT105B		
3106	17		MAT105B		MAT105B		
3106	18						
3106	19	DCC086A					
3106	20	DCC086A					
3106	21			DCC086A			
3106	22			DCC086A			
3108	7						
3108	8	MAT147A	FIS033A	MAT147A	FIS033A		
3108	9	MAT147A	FIS033A	MAT147A	FIS033A		
3108	10			FIS054A		FIS054A	
3108	11			FIS054A		FIS054A	
3108	12						
3108	13						
3108	14		MAT032A		MAT032A	EST059A	
3108	15		MAT032A		MAT032A	EST059A	
3108	16		MAT160A		MAT160A	EST059A	
3108	17		MAT160A		MAT160A	EST059A	
3108	18						
3108	19						
3108	20						
3108	21			QUI079A	QUI079A		
3108	22			QUI079A	QUI079A		
3110	7						
3110	8	EST001A		MAT153A	EST001A		
3110	9	EST001A		MAT153A	EST001A		
3110	10	MAT153A	DCC073A		DCC073A		
3110	11	MAT153A	DCC073A		DCC073A		
3110	12						
3110	13						
3110	14	QUI093A	QUI130A	QUI093A	QUI130A	EST053B	
3110	15	QUI093A	QUI130A	QUI093A	QUI130A	EST053B	
3110	16				QUI001A	EST053B	
3110	17					EST053B	
3110	18				QUI128A		
3110	19	MAT164A	QUI146A		QUI128A		
3110	20	MAT164A	QUI146A		QUI128A		
3110	21			MAT161A	QUI146A	MAT161A	
3110	22			MAT161A	QUI146A	MAT161A	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3308	7						
3308	8	QUI017A		QUI017A		MA13A	MA13A
3308	9	QUI017A		QUI017A		MA13A	MA13A
3308	10		212044A			MA13A	MA13A
3308	11		212044A			MA13A	MA13A
3308	12						
3308	13			2035016A			
3308	14	303007A	303007A	2035016A		MA14A	MA14A
3308	15	303007A	303007A	2035016A		MA14A	MA14A
3308	16			2035016A		MA14A	MA14A
3308	17					MA14A	MA14A
3308	18						
3308	19						
3308	20						
3308	21						
3308	22						
3310	7						
3310	8		EST038A	212031A	EST038A		
3310	9		EST038A	212031A	EST038A		
3310	10		212005A	212031A			
3310	11		212005A	212031A			
3310	12						
3310	13						
3310	14	303008A	212040A		EST034A	2028031A	
3310	15	303008A	212040A		EST034A	2028031A	
3310	16	303008A	212040A			2028031A	
3310	17		212040A			2028031A	
3310	18						
3310	19						
3310	20						
3310	21						
3310	22						
3312	7						
3312	8		212019A				
3312	9		212019A				
3312	10		212019A	2035005A			
3312	11		212019A	2035005A			
3312	12						
3312	13						
3312	14	FIS120A			FIS120A	2028031E	
3312	15	FIS120A			FIS120A	2028031E	
3312	16		EST039A		EST039A	2028031E	
3312	17		EST039A		EST039A	2028031E	
3312	18			2035015A	2035015A		
3312	19			2035015A	2035015A		
3312	20						
3312	21						
3312	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3314	7						
3314	8						
3314	9						
3314	10		DCC099A	DCC099A			
3314	11		DCC099A	DCC099A			
3314	12						
3314	13						
3314	14	QUI096A	MAT044A	MAT162A	MAT044A	MAT162A	
3314	15	QUI096A	MAT044A	MAT162A	MAT044A	MAT162A	
3314	16						
3314	17						
3314	18						
3314	19						
3314	20						
3314	21						
3314	22						
3316	7						
3316	8	2035009A		2035009A			
3316	9	2035009A		2035009A			
3316	10	FIS087A	211031A	FIS106A	211031A	FIS106A	
3316	11	FIS087A	211031A	FIS106A	211031A	FIS106A	
3316	12						
3316	13						
3316	14	FIS094A	2035003A	2035012A	2035012A	2035003A	
3316	15	FIS094A	2035003A	2035012A	2035012A	2035003A	
3316	16		2035028A		2035028A		
3316	17		2035028A		2035028A		
3316	18						
3316	19						
3316	20						
3316	21						
3316	22						
3318	7						
3318	8		211012A		211012A		
3318	9		211012A		211012A		2041007A
3318	10	211011A	209002A	211011A	209002A		2041007A
3318	11	211011A	209002A	211011A	209002A		
3318	12						
3318	13						
3318	14		211001A		211001A	2041006A	
3318	15		211001A		211001A	2041006A	
3318	16	211020A		211020A		2041006A	
3318	17	211020A		211020A		2041006A	
3318	18						
3318	19					2041007A	
3318	20					2041007A	
3318	21						
3318	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3404	7						
3404	8	FIS040A		FIS040A			
3404	9	FIS040A		FIS040A			
3404	10		FIS043A	EST028A	FIS043A	EST028A	
3404	11		FIS043A	EST028A	FIS043A	EST028A	
3404	12						
3404	13						
3404	14	DCC064A	DCC066A	DCC064A	DCC066A	DCC140A	
3404	15	DCC064A	DCC066A	DCC064A	DCC066A	DCC140A	
3404	16		DCC055A	DCC140A	DCC055A		
3404	17		DCC055A	DCC140A	DCC055A		
3404	18						
3404	19				DCC146A	DCC165A	
3404	20				DCC146A	DCC165A	
3404	21	DCC165A	DCC146A				
3404	22	DCC165A	DCC146A				
3406	7						
3406	8	FIS041A		FIS041A		MAT049A	
3406	9	FIS041A		FIS041A	EST19A	MAT049A	
3406	10		MAT049A	FIS119A	EST19A	FIS119A	
3406	11		MAT049A	FIS119A	EST19A	FIS119A	
3406	12						
3406	13						
3406	14		QUI133A		QUI133A	DCC069A	
3406	15		QUI133A		QUI133A	DCC069A	
3406	16	DCC100A		EST047A	DCC069A	EST047A	
3406	17	DCC100A		EST047A	DCC069A	EST047A	
3406	18						
3406	19	DCC166A	DCC167A	DCC077A	DCC167A		
3406	20	DCC166A	DCC167A	DCC077A	DCC167A		
3406	21	DCC077A		DCC166A			
3406	22	DCC077A		DCC166A			
3501	7						
3501	8	FIS053A		FIS053A			
3501	9	FIS053A		FIS053A			
3501	10		ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	
3501	11		ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	
3501	12						
3501	13						
3501	14	DCC119F	EST018A	EST033A	DCC119F	EST033A	
3501	15	DCC119F	EST018A	EST033A	DCC119F	EST033A	
3501	16		EST018A				
3501	17		EST018A				
3501	18						
3501	19			FIN001B	FIN001B		
3501	20			FIN001B	FIN001B		
3501	21						
3501	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3504	7						
3504	8	EST031A		EST031A			
3504	9	EST031A		EST031A			
3504	10			QUI091A		QUI091A	
3504	11			QUI091A		QUI091A	
3504	12						
3504	13						
3504	14	2035007A	DCC141A		DCC141A		
3504	15	2035007A	DCC141A		DCC141A		
3504	16	2035007A					
3504	17	2035007A					
3504	18						
3504	19						
3504	20						
3504	21						
3504	22						
S113	7						
S113	8		FIS076A		FIS076A		
S113	9		FIS076A		FIS076A		
S113	10	FIS097A	QUI138B		QUI132A	FIS097A	
S113	11	FIS097A	QUI138B		QUI132A	FIS097A	
S113	12						
S113	13						
S113	14	DCC119E		QUI001A	DCC119E	2041011A	
S113	15	DCC119E		QUI001A	DCC119E	2041011A	
S113	16	DCC063A	EST029G	DCC063A	EST029G	2041011A	
S113	17	DCC063A	EST029G	DCC063A	EST029G	2041011A	
S113	18						
S113	19	DCC154A	DCC049A		DCC049A	MAT144A	
S113	20	DCC154A	DCC049A		DCC049A	MAT144A	
S113	21		EST029E	MAT144A	EST029E	DCC154A	
S113	22		EST029E	MAT144A	EST029E	DCC154A	
S114	7						
S114	8				QUI155A		
S114	9				QUI155A		
S114	10	DCC070A	MAT148A	DCC070A	MAT148A		
S114	11	DCC070A	MAT148A	DCC070A	MAT148A		
S114	12						
S114	13						
S114	14	EST001C	MAT127A	QUI155A	MAT127A		
S114	15	EST001C	MAT127A	QUI155A	MAT127A		
S114	16	EST001C	MAT013A		MAT013A		
S114	17	EST001C	MAT013A		MAT013A		
S114	18						
S114	19	DCC119X			DCC119X	DCC062A	
S114	20	DCC119X			DCC119X	DCC062A	
S114	21		DCC042A	DCC062A	DCC042A		
S114	22		DCC042A	DCC062A	DCC042A		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S209	7						
S209	8	DCC119A	EST018C	MAT157A	DCC119A	MAT157A	
S209	9	DCC119A	EST018C	MAT157A	DCC119A	MAT157A	
S209	10	DCC008A		MAT024A	DCC008A	MAT024A	
S209	11	DCC008A		MAT024A	DCC008A	MAT024A	
S209	12						
S209	13	EST018C					
S209	14	EST018C	MAT110A	MAT157C	MAT110A	MAT157C	
S209	15		MAT110A	MAT157C	MAT110A	MAT157C	
S209	16	DCC008E			DCC008E		
S209	17	DCC008E			DCC008E		
S209	18						
S209	19	FIS081B	QUI141A	FIS081B	DCC001A	MAT158C	
S209	20	FIS081B	QUI141A	FIS081B	DCC001A	MAT158C	
S209	21	QUI084A	MAT158C	QUI084A	QUI141A	DCC001A	
S209	22	QUI084A	MAT158C	QUI084A	QUI141A	DCC001A	
S210	7						
S210	8	DCC119B		MAT157B	DCC119B	MAT157B	
S210	9	DCC119B		MAT157B	DCC119B	MAT157B	
S210	10	QUI142A	MAT158D	QUI142A	MAT158D		
S210	11	QUI142A	MAT158D	QUI142A	MAT158D		
S210	12						
S210	13						
S210	14	DCC119D		MAT157D	DCC119D	MAT157D	
S210	15	DCC119D		MAT157D	DCC119D	MAT157D	
S210	16		EST029F	MAT163A	EST029F	MAT163A	
S210	17		EST029F	MAT163A	EST029F	MAT163A	
S210	18						
S210	19	DCC59A	DCC061A	MAT123A			
S210	20	DCC59A	DCC061A	MAT123A			
S210	21	DCC061A	MAT143A	DCC59A	MAT143A	MAT123A	
S210	22	DCC061A	MAT143A	DCC59A	MAT143A	MAT123A	
S301	7						
S301	8	MAT154A				MAT154A	
S301	9	MAT154A				MAT154A	
S301	10	DCC008B		MAT155A	DCC008B	MAT155A	
S301	11	DCC008B		MAT155A	DCC008B	MAT155A	
S301	12						
S301	13						
S301	14	DCC119C		MAT154C	DCC119C	MAT154C	
S301	15	DCC119C		MAT154C	DCC119C	MAT154C	
S301	16	DCC008D		MAT155C	DCC008D	MAT155C	
S301	17	DCC008D		MAT155C	DCC008D	MAT155C	
S301	18						
S301	19	DCC119G	EST010A	MAT154E	DCC119G	MAT155E	
S301	20	DCC119G	EST010A	MAT154E	DCC119G	MAT155E	
S301	21	DCC008F	EST010A	MAT155E	DCC008F	MAT154E	
S301	22	DCC008F	EST010A	MAT155E	DCC008F	MAT154E	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S302	7						
S302	8		FIS073A	MAT154B	FIS073A	MAT154B	
S302	9		FIS073A	MAT154B	FIS073A	MAT154B	
S302	10		EST029A	MAT155B	EST029A	MAT155B	
S302	11		EST029A	MAT155B	EST029A	MAT155B	
S302	12						
S302	13						
S302	14	FIS108A	FIS073C	MAT154D	FIS073C	MAT154D	
S302	15		FIS073C	MAT154D	FIS073C	MAT154D	
S302	16		DCC013A	MAT155D	DCC013A	MAT155D	
S302	17		DCC013A	MAT155D	DCC013A	MAT155D	
S302	18						
S302	19	DCC119H		MAT154F	DCC119H	MAT155F	
S302	20	DCC119H		MAT154F	DCC119H	MAT155F	
S302	21	DCC133A	MAT013B	MAT155F	MAT013B	MAT154F	
S302	22	DCC133A	MAT013B	MAT155F	MAT013B	MAT154F	
S304	7						
S304	8	QUI087A	FIS073B	MAT156A	FIS073B	MAT156A	
S304	9	QUI087A	FIS073B	MAT156A	FIS073B	MAT156A	
S304	10			MAT029A	QUI087A	MAT029A	
S304	11			MAT029A	QUI087A	MAT029A	
S304	12						
S304	13						
S304	14		FIS073D	MAT156C	FIS073D	MAT156C	
S304	15		FIS073D	MAT156C	FIS073D	MAT156C	
S304	16		DCC013B	MAT029C	DCC013B	MAT029C	
S304	17		DCC013B	MAT029C	DCC013B	MAT029C	
S304	18						
S304	19	QUI122A	FIS073I	MAT154G	FIS073I	MAT155G	
S304	20	QUI122A	FIS073I	MAT154G	FIS073I	MAT155G	
S304	21		DCC160B	MAT155G	DCC160B	MAT154G	
S304	22		DCC160B	MAT155G	DCC160B	MAT154G	
S308	7						
S308	8		FIS075A	MAT156B	FIS075A	MAT156B	
S308	9		FIS075A	MAT156B	FIS075A	MAT156B	
S308	10		MAT158A	MAT029B	MAT158A	MAT029B	
S308	11		MAT158A	MAT029B	MAT158A	MAT029B	
S308	12						
S308	13	QUI152A					
S308	14	QUI152A	FIS075C	MAT156D	FIS075C	MAT156D	
S308	15	QUI152A	FIS075C	MAT156D	FIS075C	MAT156D	
S308	16		EST029B	MAT030A	EST029B	MAT030A	
S308	17		EST029B	MAT030A	EST029B	MAT030A	
S308	18						
S308	19		FIS075H	MAT156E	FIS075H	MAT029D	
S308	20		FIS075H	MAT156E	FIS075H	MAT029D	
S308	21		EST029D	MAT029D	EST029D	MAT156E	
S308	22		EST029D	MAT029D	EST029D	MAT156E	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S309	7					QUI068A	
S309	8		FIS073E		FIS073E	QUI068A	
S309	9	EST008A	FIS073E	EST008A	FIS073E	QUI068A	
S309	10	EST008A	EST029C	EST008A	EST029C		
S309	11	EST008A	EST029C	EST008A	EST029C		
S309	12						
S309	13						
S309	14	FIS081A	FIS073F	FIS081A	FIS073F	QUI135A	
S309	15	FIS081A	FIS073F	FIS081A	FIS073F	QUI135A	
S309	16	FIS052A	MAT158B		FIS052A	MAT158B	
S309	17	FIS052A	MAT158B		FIS052A	MAT158B	
S309	18						
S309	19	FIS109A	MAT110B	MAT157E	MAT110B	MAT030B	
S309	20	FIS109A	MAT110B	MAT157E	MAT110B	MAT030B	
S309	21		DCC160A	MAT030B	DCC160A	MAT157E	
S309	22		DCC160A	MAT030B	DCC160A	MAT157E	
S401	7						
S401	8		QUI154A	QUI106A			
S401	9		QUI154A	QUI106A			
S401	10	QUI143A	FIS110A	QUI143A	DCC101A		
S401	11	QUI143A	FIS110A	QUI143A	DCC101A		
S401	12						
S401	13						
S401	14	FIS081C	MAT166A	FIS081C	MAT166A	212021A	
S401	15	FIS081C	MAT166A	FIS081C	MAT166A	212021A	
S401	16	DCC008C		QUI153A	DCC008C		
S401	17	DCC008C		QUI153A	DCC008C		
S401	18						
S401	19	DCC060A	DCC122A	DCC060A	DCC122A	MAT119A	
S401	20	DCC060A	DCC122A	DCC060A	DCC122A	MAT119A	
S401	21	FIS085A		MAT119A			
S401	22	FIS085A		MAT119A			
S402	7						
S402	8		FIS074A		FIS074A	QUI077A	
S402	9		FIS074A		FIS074A	QUI077A	
S402	10	QUI125A	QUI059A	QUI077A	QUI125A	QUI059A	
S402	11	QUI125A	QUI059A	QUI077A	QUI125A	QUI059A	
S402	12						
S402	13						
S402	14	QUI094A	FIS074C	EST017A	FIS074C	302007A	
S402	15	QUI094A	FIS074C	EST017A	FIS074C	302007A	
S402	16	QUI125C		EST017A	QUI125C		
S402	17	QUI125C		EST017A	QUI125C		
S402	18						
S402	19	DCC119Y	MAT149A	EST001B	DCC119Y		
S402	20	DCC119Y	MAT149A	EST001B	DCC119Y		
S402	21	QUI125F	MAT149A	EST001B	QUI125F		
S402	22	QUI125F	MAT149A	EST001B	QUI125F		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S404	7						
S404	8		FIS074B		FIS074B		
S404	9		FIS074B		FIS074B		
S404	10	QUI125B		MAT133A	QUI125B	MAT133A	
S404	11	QUI125B		MAT133A	QUI125B	MAT133A	
S404	12						
S404	13						
S404	14	DCC012A	FIS075D	DCC012A	FIS075D	QUI066A	
S404	15	DCC012A	FIS075D	DCC012A	FIS075D	QUI066A	
S404	16	QUI125D			QUI125D		
S404	17	QUI125D	DCC075A		QUI125D	DCC075A	
S404	18		DCC075A			DCC075A	
S404	19		FIS074H		FIS074H		
S404	20		FIS074H		FIS074H		
S404	21	MAT083A			QUI125E		
S404	22	MAT083A			QUI125E		

B Anexo II: Alocação Algoritmo Genético

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3104	7						
3104	8	2035009A	EST038A	2035009A	EST038A	MA13A	MA13A
3104	9	2035009A	EST038A	2035009A	EST038A	MA13A	MA13A
3104	10	211011A	DCC099A	211011A		MA13A	MA13A
3104	11	211011A	DCC099A	211011A		MA13A	MA13A
3104	12						
3104	13						
3104	14	QUI093A	MAT044A	QUI093A	MAT044A	MA14A	MA14A
3104	15	QUI093A	MAT044A	QUI093A	MAT044A	MA14A	MA14A
3104	16	211020A	EST039A	211020A	EST039A	MA14A	MA14A
3104	17	211020A	EST039A	211020A	EST039A	MA14A	MA14A
3104	18			2035015A	2035015A		
3104	19	DCC166A		2035015A	2035015A	DCC165A	
3104	20	DCC166A				DCC165A	
3104	21	DCC165A		DCC166A			
3104	22	DCC165A		DCC166A			
3105	7						
3105	8	FIS041A	FIS033A	FIS041A	FIS033A		
3105	9	FIS041A	FIS033A	FIS041A	FIS033A		2041007A
3105	10		DCC073A	FIS119A	DCC073A	FIS119A	2041007A
3105	11		DCC073A	FIS119A	DCC073A	FIS119A	
3105	12						
3105	13						
3105	14	303007A	303007A	QUI102A	EST034A	MA23A	MA23A
3105	15	303007A	303007A	QUI102A	EST034A	MA23A	MA23A
3105	16	DCC100A	MAT160A	QUI102A	MAT160A	MA23A	MA23A
3105	17	DCC100A	MAT160A	QUI102A	MAT160A	MA23A	MA23A
3105	18				QUI128A		
3105	19				QUI128A	2041007A	
3105	20				QUI128A	2041007A	
3105	21			QUI079A	QUI079A		
3105	22			QUI079A	QUI079A		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3106	7						
3106	8	FIS051A	FIS105A	MAT153A		FIS051A	
3106	9	FIS051A	FIS105A	MAT153A		FIS051A	
3106	10	MAT153A	EST043A	EST028A	EST043A	EST028A	
3106	11	MAT153A	EST043A	EST028A	EST043A	EST028A	
3106	12						
3106	13						
3106	14	FIS094A	DCC066A	FIS105A	DCC066A	2028031E	
3106	15	FIS094A	DCC066A	FIS105A	DCC066A	2028031E	
3106	16		DCC055A		DCC055A	2028031E	
3106	17		DCC055A		DCC055A	2028031E	
3106	18						
3106	19	DCC086A		FIN001B	FIN001B		
3106	20	DCC086A		FIN001B	FIN001B		
3106	21			DCC086A			
3106	22			DCC086A			
3108	7						
3108	8	EST001A		212031A	EST001A		
3108	9	EST001A		212031A	EST001A		
3108	10		FIS098A	212031A	FIS098A		
3108	11		FIS098A	212031A	FIS098A		
3108	12						
3108	13						
3108	14	DCC064A	QUI097A	DCC064A	QUI097A	EST059A	
3108	15	DCC064A	QUI097A	DCC064A	QUI097A	EST059A	
3108	16		MAT105A		MAT105A	EST059A	
3108	17		MAT105A		MAT105A	EST059A	
3108	18						
3108	19	DCC134A	DCC167A		DCC167A		
3108	20	DCC134A	DCC167A		DCC167A		
3108	21			DCC134A			
3108	22			DCC134A			
3110	7						
3110	8	FIS040A		FIS040A		MAT049A	
3110	9	FIS040A		FIS040A	EST019A	MAT049A	
3110	10		MAT049A	FIS106A	EST019A	FIS106A	
3110	11		MAT049A	FIS106A	EST019A	FIS106A	
3110	12						
3110	13						
3110	14	2035007A	MAT032A	EST033A	MAT032A	EST033A	
3110	15	2035007A	MAT032A	EST033A	MAT032A	EST033A	
3110	16	2035007A	2035028A		2035028A		
3110	17	2035007A	2035028A		2035028A		
3110	18						
3110	19						
3110	20						
3110	21						
3110	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3308	7						
3308	8	QUI017A		QUI017A			
3308	9	QUI017A		QUI017A			
3308	10		FIS043A	FIS031A	FIS043A	FIS031A	
3308	11		FIS043A	FIS031A	FIS043A	FIS031A	
3308	12						
3308	13			2035016A			
3308	14	303008A	QUI133A	2035016A	QUI133A	EST059B	
3308	15	303008A	QUI133A	2035016A	QUI133A	EST059B	
3308	16	303008A		2035016A		EST059B	
3308	17					EST059B	
3308	18						
3308	19						
3308	20						
3308	21						
3308	22						
3310	7						
3310	8	QUI009A	212019A	QUI009A			
3310	9	QUI009A	212019A	QUI009A			
3310	10		212019A	2035005A			
3310	11		212019A	2035005A			
3310	12						
3310	13						
3310	14	202006A	212040A	2035012A	2035012A	DCC140A	
3310	15	202006A	212040A	2035012A	2035012A	DCC140A	
3310	16	202006A	212040A	DCC140A			
3310	17	202006A	212040A	DCC140A			
3310	18						
3310	19						
3310	20						
3310	21						
3310	22						
3312	7						
3312	8	MAT147A		MAT147A			
3312	9	MAT147A		MAT147A			
3312	10		ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	
3312	11		ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	
3312	12						
3312	13						
3312	14	DCC119F	EST018A		DCC119F	DCC069A	
3312	15	DCC119F	EST018A		DCC119F	DCC069A	
3312	16		EST018A		DCC069A		
3312	17		EST018A		DCC069A		
3312	18						
3312	19						
3312	20						
3312	21						
3312	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3314	7						
3314	8	FIS053A		FIS053A			
3314	9	FIS053A		FIS053A			
3314	10		212044A	QUI091A		QUI091A	
3314	11		212044A	QUI091A		QUI091A	
3314	12						
3314	13						
3314	14	FIS120A	2035003A		FIS120A	2035003A	
3314	15	FIS120A	2035003A		FIS120A	2035003A	
3314	16						
3314	17						
3314	18						
3314	19						
3314	20						
3314	21						
3314	22						
3316	7						
3316	8	QUI106B					
3316	9	QUI106B					
3316	10	QUI106B	212005A	FIS054A		FIS054A	
3316	11	QUI106B	212005A	FIS054A		FIS054A	
3316	12						
3316	13						
3316	14		211001A	MAT162A	211001A	MAT162A	
3316	15		211001A	MAT162A	211001A	MAT162A	
3316	16						
3316	17						
3316	18						
3316	19						
3316	20						
3316	21						
3316	22						
3318	7						
3318	8						
3318	9						
3318	10		ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3318	11		ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3318	12						
3318	13						
3318	14	QUI130A	QUI131A	QUI130A	QUI131A	2041006A	
3318	15	QUI130A	QUI131A	QUI130A	QUI131A	2041006A	
3318	16					2041006A	
3318	17					2041006A	
3318	18						
3318	19						
3318	20						
3318	21						
3318	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3404	7						
3404	8						
3404	9						
3404	10		211031A		211031A		
3404	11		211031A		211031A		
3404	12						
3404	13				2035029A		
3404	14				2035029A	2028031A	
3404	15				2035029A	2028031A	
3404	16				2035029A	2028031A	
3404	17					2028031A	
3404	18						
3404	19						
3404	20						
3404	21						
3404	22						
3406	7						
3406	8	EST031A	211012A	EST031A	211012A	MA35A	MA35A
3406	9	EST031A	211012A	EST031A	211012A	MA35A	MA35A
3406	10	FIS087A	209002A	QUI096A	209002A	MA35A	MA35A
3406	11	FIS087A	209002A	QUI096A	209002A	MA35A	MA35A
3406	12						
3406	13						
3406	14	QUI096A	EST020A	MAT122A	EST020A	MAT122A	
3406	15	QUI096A	EST020A	MAT122A	EST020A	MAT122A	
3406	16	QUI104A	QUI104A	EST047A	QUI001A	EST047A	
3406	17	QUI104A	QUI104A	EST047A		EST047A	
3406	18						
3406	19	MAT164A	QUI146A	DCC077A	DCC146A	MAT161A	
3406	20	MAT164A	QUI146A	DCC077A	DCC146A	MAT161A	
3406	21	DCC077A	DCC146A	MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3406	22	DCC077A	DCC146A	MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3501	7						
3501	8						
3501	9						
3501	10						
3501	11						
3501	12						
3501	13						
3501	14						
3501	15						
3501	16						
3501	17						
3501	18						
3501	19						
3501	20						
3501	21						
3501	22						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3504	7						
3504	8						
3504	9						
3504	10						
3504	11						
3504	12						
3504	13						
3504	14						
3504	15						
3504	16						
3504	17						
3504	18						
3504	19						
3504	20						
3504	21						
3504	22						
S113	7						
S113	8	DCC119A	EST018C	MAT154B	DCC119A	MAT154B	
S113	9	DCC119A	EST018C	MAT154B	DCC119A	MAT154B	
S113	10	QUI125B	FIS110A	MAT029A	QUI125B	MAT029A	
S113	11	QUI125B	FIS110A	MAT029A	QUI125B	MAT029A	
S113	12						
S113	13	EST018C					
S113	14	EST018C	MAT110A	MAT156D	MAT110A	MAT156D	
S113	15		MAT110A	MAT156D	MAT110A	MAT156D	
S113	16	DCC063A	EST029F	DCC063A	EST029F		
S113	17	DCC063A	EST029F	DCC063A	EST029F		
S113	18						
S113	19	DCC060A	QUI141A	DCC060A		MAT158C	
S113	20	DCC060A	QUI141A	DCC060A		MAT158C	
S113	21	FIS085A	MAT158C	MAT029D	QUI141A	MAT029D	
S113	22	FIS085A	MAT158C	MAT029D	QUI141A	MAT029D	
S114	7					QUI068A	
S114	8		QUI154A		QUI155A	QUI068A	
S114	9	EST008A	QUI154A	EST008A	QUI155A	QUI068A	
S114	10	EST008A	QUI059A	EST008A	QUI132A	QUI059A	
S114	11	EST008A	QUI059A	EST008A	QUI132A	QUI059A	
S114	12						
S114	13						
S114	14	FIS108A	FIS075C	QUI155A	FIS075C	QUI066A	
S114	15	FIS108A	FIS075C	QUI155A	FIS075C	QUI066A	
S114	16		EST029B	MAT163A	EST029B	MAT163A	
S114	17		EST029B	MAT163A	EST029B	MAT163A	
S114	18						
S114	19	FIS109A	FIS074H	MAT154G	FIS074H	MAT030B	
S114	20	FIS109A	FIS074H	MAT154G	FIS074H	MAT030B	
S114	21	DCC133A	EST029D	MAT030B	EST029D	MAT154G	
S114	22	DCC133A	EST029D	MAT030B	EST029D	MAT154G	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S209	7						
S209	8		FIS076A	MAT156B	FIS076A	MAT156B	
S209	9		FIS076A	MAT156B	FIS076A	MAT156B	
S209	10		MAT158A	MAT024A	MAT158A	MAT024A	
S209	11		MAT158A	MAT024A	MAT158A	MAT024A	
S209	12						
S209	13						
S209	14	DCC119C			DCC119C	302007A	
S209	15	DCC119C			DCC119C	302007A	
S209	16	DCC008E		MAT155C	DCC008E	MAT155C	
S209	17	DCC008E		MAT155C	DCC008E	MAT155C	
S209	18						
S209	19	QUI122A	MAT110B	MAT154F	MAT110B	MAT155E	
S209	20	QUI122A	MAT110B	MAT154F	MAT110B	MAT155E	
S209	21	MAT083A	EST029E	MAT155E	EST029E	MAT154F	
S209	22	MAT083A	EST029E	MAT155E	EST029E	MAT154F	
S210	7						
S210	8		FIS073E	MAT157A	FIS073E	MAT157A	
S210	9		FIS073E	MAT157A	FIS073E	MAT157A	
S210	10		MAT158D	MAT133A	MAT158D	MAT133A	
S210	11		MAT158D	MAT133A	MAT158D	MAT133A	
S210	12						
S210	13						
S210	14	FIS081A	MAT127A	FIS081A	MAT127A	212021A	
S210	15	FIS081A	MAT127A	FIS081A	MAT127A	212021A	
S210	16	DCC008D		MAT030A	DCC008D	MAT030A	
S210	17	DCC008D		MAT030A	DCC008D	MAT030A	
S210	18						
S210	19	DCC119Y	DCC061A	EST001B	DCC119Y		
S210	20	DCC119Y	DCC061A	EST001B	DCC119Y		
S210	21	DCC061A	MAT013B	EST001B	MAT013B		
S210	22	DCC061A	MAT013B	EST001B	MAT013B		
S301	7						
S301	8		FIS073A	MAT154A	FIS073A	MAT154A	
S301	9		FIS073A	MAT154A	FIS073A	MAT154A	
S301	10	QUI125A	QUI138B	MAT155A	QUI125A	MAT155A	
S301	11	QUI125A	QUI138B	MAT155A	QUI125A	MAT155A	
S301	12						
S301	13	QUI152A					
S301	14	QUI152A	FIS073F	MAT157C	FIS073F	MAT157C	
S301	15	QUI152A	FIS073F	MAT157C	FIS073F	MAT157C	
S301	16		EST029G	QUI153A	EST029G		
S301	17		EST029G	QUI153A	EST029G		
S301	18						
S301	19	FIS081B	EST010A	FIS081B	DCC001A	MAT155F	
S301	20	FIS081B	EST010A	FIS081B	DCC001A	MAT155F	
S301	21	DCC008F	EST010A	MAT155F	DCC008F	DCC001A	
S301	22	DCC008F	EST010A	MAT155F	DCC008F	DCC001A	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S302	7						
S302	8		FIS075A	MAT156A	FIS075A	MAT156A	
S302	9		FIS075A	MAT156A	FIS075A	MAT156A	
S302	10		EST029C	MAT155B	EST029C	MAT155B	
S302	11		EST029C	MAT155B	EST029C	MAT155B	
S302	12						
S302	13						
S302	14	DCC012A	FIS075D	DCC012A	FIS075D	QUI135A	
S302	15	DCC012A	FIS075D	DCC012A	FIS075D	QUI135A	
S302	16	QUI125C	MAT158B		QUI125C	MAT158B	
S302	17	QUI125C	MAT158B		QUI125C	MAT158B	
S302	18						
S302	19	DCC059A	FIS075H	MAT157E	FIS075H		
S302	20	DCC059A	FIS075H	MAT157E	FIS075H		
S302	21	QUI138A	DCC042A	DCC059A	DCC042A	MAT157E	
S302	22	QUI138A	DCC042A	DCC059A	DCC042A	MAT157E	
S304	7						
S304	8		FIS074B	QUI106A	FIS074B	QUI077A	
S304	9		FIS074B	QUI106A	FIS074B	QUI077A	
S304	10	FIS097A	EST029A	QUI077A	EST029A	FIS097A	
S304	11	FIS097A	EST029A	QUI077A	EST029A	FIS097A	
S304	12						
S304	13						
S304	14	QUI094A	FIS073D	MAT154D	FIS073D	MAT154D	
S304	15	QUI094A	FIS073D	MAT154D	FIS073D	MAT154D	
S304	16	QUI125D			QUI125D		
S304	17	QUI125D	DCC075A		QUI125D	DCC075A	
S304	18		DCC075A			DCC075A	
S304	19	DCC119X	MAT149A	MAT156E	DCC119X	DCC062A	
S304	20	DCC119X	MAT149A	MAT156E	DCC119X	DCC062A	
S304	21	QUI125F	MAT149A	DCC062A	QUI125F	MAT156E	
S304	22	QUI125F	MAT149A	DCC062A	QUI125F	MAT156E	
S308	7						
S308	8		FIS074A	MAT157B	FIS074A	MAT157B	
S308	9		FIS074A	MAT157B	FIS074A	MAT157B	
S308	10	DCC008A		MAT029B	DCC008A	MAT029B	
S308	11	DCC008A		MAT029B	DCC008A	MAT029B	
S308	12						
S308	13						
S308	14	FIS081C	FIS073C	FIS081C	FIS073C	2041011A	
S308	15	FIS081C	FIS073C	FIS081C	FIS073C	2041011A	
S308	16		DCC013A		DCC013A	2041011A	
S308	17		DCC013A		DCC013A	2041011A	
S308	18						
S308	19		DCC122A	MAT123A	DCC122A	MAT155G	
S308	20		DCC122A	MAT123A	DCC122A	MAT155G	
S308	21		MAT143A	MAT155G	MAT143A	MAT123A	
S308	22		MAT143A	MAT155G	MAT143A	MAT123A	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S309	7						
S309	8	DCC119B			DCC119B		
S309	9	DCC119B			DCC119B		
S309	10	DCC008B			DCC008B		
S309	11	DCC008B			DCC008B		
S309	12						
S309	13						
S309	14	EST001C	FIS074C	MAT157D	FIS074C	MAT157D	
S309	15	EST001C	FIS074C	MAT157D	FIS074C	MAT157D	
S309	16	EST001C	MAT013A	MAT155D	MAT013A	MAT155D	
S309	17	EST001C	MAT013A	MAT155D	MAT013A	MAT155D	
S309	18						
S309	19	DCC154A	DCC049A		DCC049A	MAT144A	
S309	20	DCC154A	DCC049A		DCC049A	MAT144A	
S309	21		DCC160B	MAT144A	DCC160B	DCC154A	
S309	22		DCC160B	MAT144A	DCC160B	DCC154A	
S401	7						
S401	8		FIS073B		FIS073B		
S401	9		FIS073B		FIS073B		
S401	10	QUI142A	MAT148A	QUI142A	MAT148A		
S401	11	QUI142A	MAT148A	QUI142A	MAT148A		
S401	12						
S401	13						
S401	14	DCC119D		MAT156C	DCC119D	MAT156C	
S401	15	DCC119D		MAT156C	DCC119D	MAT156C	
S401	16	FIS052A		MAT029C	FIS052A	MAT029C	
S401	17	FIS052A		MAT029C	FIS052A	MAT029C	
S401	18						
S401	19	QUI125E	MAT149B				
S401	20	QUI125E	MAT149B				
S401	21		MAT149B	MAT154E	QUI125E	MAT154E	
S401	22		MAT149B	MAT154E	QUI125E	MAT154E	
S402	7						
S402	8	QUI087A					
S402	9	QUI087A					
S402	10	QUI143A		QUI143A	QUI087A		
S402	11	QUI143A		QUI143A	QUI087A		
S402	12						
S402	13						
S402	14		MAT166A	MAT154C	MAT166A	MAT154C	
S402	15		MAT166A	MAT154C	MAT166A	MAT154C	
S402	16		DCC013B		DCC013B		
S402	17		DCC013B		DCC013B		
S402	18						
S402	19		FIS073I		FIS073I	MAT119A	
S402	20		FIS073I		FIS073I	MAT119A	
S402	21		DCC160A	MAT119A	DCC160A		
S402	22		DCC160A	MAT119A	DCC160A		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S404	7						
S404	8						
S404	9						
S404	10	DCC070A		DCC070A	DCC101A		
S404	11	DCC070A		DCC070A	DCC101A		
S404	12						
S404	13						
S404	14	DCC119E			DCC119E		
S404	15	DCC119E			DCC119E		
S404	16	DCC008C			DCC008C		
S404	17	DCC008C			DCC008C		
S404	18						
S404	19						
S404	20						
S404	21	QUI084A		QUI084A			
S404	22	QUI084A		QUI084A			

C Anexo III: Alocação Busca Local

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3104	7						
3104	8	QUI106B	EST038A		EST038A		
3104	9	QUI106B	EST038A		EST038A		2041007A
3104	10	QUI106B	209002A	QUI091A	209002A	QUI091A	2041007A
3104	11	QUI106B	209002A	QUI091A	209002A	QUI091A	
3104	12						
3104	13			2035016A	2035029A		
3104	14	303008A	2035003A	2035016A	2035029A	2035003A	
3104	15	303008A	2035003A	2035016A	2035029A	2035003A	
3104	16	303008A		2035016A	2035029A		
3104	17						
3104	18						
3104	19	DCC086A	DCC167A	DCC077A	DCC167A	2041007A	
3104	20	DCC086A	DCC167A	DCC077A	DCC167A	2041007A	
3104	21	DCC077A		DCC086A			
3104	23						
3105	7						
3105	8	FIS051A	211012A	MAT153A	211012A	FIS051A	
3105	9	FIS051A	211012A	MAT153A	211012A	FIS051A	
3105	10	MAT153A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3105	11	MAT153A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	ICE003A	
3105	12						
3105	13						
3105	14	202006A	QUI131A	MAT162A	QUI131A	MAT162A	
3105	15	202006A	QUI131A	MAT162A	QUI131A	MAT162A	
3105	16	202006A	DCC055A	EST047A	DCC055A	EST047A	
3105	17	202006A	DCC055A	EST047A	DCC055A	EST047A	
3105	18						
3105	19	DCC134A	QUI146A		DCC146A	DCC165A	
3105	20	DCC134A	QUI146A		DCC146A	DCC165A	
3105	21	DCC165A	DCC146A	DCC134A	QUI146A		
3105	22	DCC165A	DCC146A	DCC134A	QUI146A		
3105	23						

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3106	7						
3106	8	FIS053A	FIS033A	FIS053A	FIS033A	MAT049A	
3106	9	FIS053A	FIS033A	FIS053A	FIS033A	MAT049A	
3106	10	FIS087A	MAT049A	FIS054A		FIS054A	
3106	11	FIS087A	MAT049A	FIS054A		FIS054A	
3106	12						
3106	13						
3106	14	DCC064A	MAT044A	DCC064A	MAT044A	MA14A	MA14A
3106	15	DCC064A	MAT044A	DCC064A	MAT044A	MA14A	MA14A
3106	16	211020A	2035028A	211020A	2035028A	MA14A	MA14A
3106	17	211020A	2035028A	211020A	2035028A	MA14A	MA14A
3106	18			2035015A	2035015A		
3106	19	MAT164A	QUI146A	2035015A	2035015A	MAT161A	
3106	20	MAT164A	QUI146A			MAT161A	
3106	21			MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3106	22			MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3108	7						
3108	8	EST031A	FIS105A	EST031A		MA35A	MA35A
3108	9	EST031A	FIS105A	EST031A		MA35A	MA35A
3108	10	FIS087A	EST043A	QUI096A	EST043A	MA35A	MA35A
3108	11	FIS087A	EST043A	QUI096A	EST043A	MA35A	MA35A
3108	12						
3108	13						
3108	14	QUI096A	QUI130A	FIS105A	QUI130A	DCC140A	
3108	15	QUI096A	QUI130A	FIS105A	QUI130A	DCC140A	
3108	16	DCC100A	MAT160A	DCC140A	MAT160A		
3108	17	DCC100A	MAT160A	DCC140A	MAT160A		
3108	18				QUI128A		
3108	19	MAT164A		DCC077A	QUI128A		
3108	20	MAT164A		DCC077A	QUI128A		
3108	21	DCC077A		QUI079A	QUI079A	MAT164A	
3108	22	DCC077A		QUI079A	QUI079A	MAT164A	
3110	7						
3110	8	QUI017A	EST038A	QUI017A	EST038A		
3110	9	QUI017A	EST038A	QUI017A	EST038A		2041007A
3110	10	FIS087A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	2041007A
3110	11	FIS087A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	ICE004A	
3110	12						
3110	13						
3110	14	303007A	303007A	QUI102A	EST034A	2028031A	
3110	15	303007A	303007A	QUI102A	EST034A	2028031A	
3110	16	DCC100A	EST039A	QUI102A	EST039A	2028031A	
3110	17	DCC100A	EST039A	QUI102A	EST039A	2028031A	
3110	18						
3110	19	DCC166A	DCC167A	DCC077A	DCC167A	2041007A	
3110	20	DCC166A	DCC167A	DCC077A	DCC167A	2041007A	
3110	21	DCC077A		DCC166A			
3110	22	DCC077A		DCC166A			

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3308	7						
3308	8	EST001A		MAT153A	EST001A		
3308	9	EST001A		MAT153A	EST001A		
3308	10	MAT153A	212005A	FIS031A		FIS031A	
3308	11	MAT153A	212005A	FIS031A		FIS031A	
3308	12						
3308	13						
3308	14	2035007A	EST018A	2035012A	2035012A	EST059A	
3308	15	2035007A	EST018A	2035012A	2035012A	EST059A	
3308	16	2035007A	EST018A		QUI001A	EST059A	
3308	17	2035007A	EST018A			EST059A	
3308	18			2035015A	2035015A		
3308	19	MAT164A	QUI146A	2035015A	2035015A	MAT161A	
3308	20	MAT164A	QUI146A			MAT161A	
3308	21			MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3308	22			MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3310	7						
3310	8	2035009A	FIS033A	2035009A	FIS033A	MA13A	MA13A
3310	9	2035009A	FIS033A	2035009A	FIS033A	MA13A	MA13A
3310	10	211011A	FIS043A	211011A	FIS043A	MA13A	MA13A
3310	11	211011A	FIS043A	211011A	FIS043A	MA13A	MA13A
3310	12						
3310	13						
3310	14	FIS094A	211001A	QUI102A	211001A	MA23A	MA23A
3310	15	FIS094A	211001A	QUI102A	211001A	MA23A	MA23A
3310	16	DCC100A	MAT105A	QUI102A	MAT105A	MA23A	MA23A
3310	17	DCC100A	MAT105A	QUI102A	MAT105A	MA23A	MA23A
3310	18						
3310	19	MAT164A			DCC146A	DCC165A	
3310	20	MAT164A			DCC146A	DCC165A	
3310	21	DCC165A	DCC146A	QUI079A	QUI079A	MAT164A	
3310	22	DCC165A	DCC146A	QUI079A	QUI079A	MAT164A	
3312	7						
3312	8	MAT147A	FIS105A	MAT147A			
3312	9	MAT147A	FIS105A	MAT147A	EST019A		2041007A
3312	10	FIS087A	212044A	EST028A	EST019A	EST028A	2041007A
3312	11	FIS087A	212044A	EST028A	EST019A	EST028A	
3312	12						
3312	13						
3312	14	DCC119F	212040A	FIS105A	DCC119F	DCC069A	
3312	15	DCC119F	212040A	FIS105A	DCC119F	DCC069A	
3312	16	211020A	212040A	211020A	DCC069A		
3312	17	211020A	212040A	211020A	DCC069A		
3312	18				QUI128A		
3312	19	DCC086A	QUI146A	DCC077A	QUI128A	2041007A	
3312	20	DCC086A	QUI146A	DCC077A	QUI128A	2041007A	
3312	21	DCC077A		DCC086A	QUI146A		
3312	22	DCC077A		DCC086A	QUI146A		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3314	7						
3314	8	FIS041A	211012A	FIS041A	211012A		
3314	9	FIS041A	211012A	FIS041A	211012A		2041007A
3314	10	FIS087A	FIS098A	FIS106A	FIS098A	FIS106A	2041007A
3314	11	FIS087A	FIS098A	FIS106A	FIS098A	FIS106A	
3314	12						
3314	13						
3314	14	QUI093A	EST020A	QUI093A	EST020A	2041006A	
3314	15	QUI093A	EST020A	QUI093A	EST020A	2041006A	
3314	16	QUI104A	QUI104A		QUI001A	2041006A	
3314	17	QUI104A	QUI104A			2041006A	
3314	18						
3314	19	DCC166A	QUI146A	FIN001B	FIN001B	2041007A	
3314	20	DCC166A	QUI146A	FIN001B	FIN001B	2041007A	
3314	21			DCC166A	QUI146A		
3314	22			DCC166A	QUI146A		
3316	7						
3316	8	EST001A		212031A	EST001A	MA35A	MA35A
3316	9	EST001A		212031A	EST001A	MA35A	MA35A
3316	10	FIS087A	DCC073A	212031A	DCC073A	MA35A	MA35A
3316	11	FIS087A	DCC073A	212031A	DCC073A	MA35A	MA35A
3316	12						
3316	13						
3316	14	FIS120A		MAT122A	FIS120A	MAT122A	
3316	15	FIS120A		MAT122A	FIS120A	MAT122A	
3316	16	DCC100A	MAT160A	EST047A	MAT160A	EST047A	
3316	17	DCC100A	MAT160A	EST047A	MAT160A	EST047A	
3316	18						
3316	19	DCC134A	DCC167A		DCC167A	DCC165A	
3316	20	DCC134A	DCC167A		DCC167A	DCC165A	
3316	21	DCC165A		DCC134A			
3316	22	DCC165A		DCC134A			
3318	7						
3318	8	FIS040A	212019A	FIS040A			
3318	9	FIS040A	212019A	FIS040A	EST019A		
3318	10	FIS087A	212019A	FIS119A	EST019A	FIS119A	
3318	11	FIS087A	212019A	FIS119A	EST019A	FIS119A	
3318	12						
3318	13						
3318	14	2035007A	QUI133A	EST033A	QUI133A	EST033A	
3318	15	2035007A	QUI133A	EST033A	QUI133A	EST033A	
3318	16	2035007A	DCC055A	EST047A	DCC055A	EST047A	
3318	17	2035007A	DCC055A	EST047A	DCC055A	EST047A	
3318	18				QUI128A		
3318	19	MAT164A	QUI146A	DCC077A	QUI128A	MAT161A	
3318	20	MAT164A	QUI146A	DCC077A	QUI128A	MAT161A	
3318	21	DCC077A		MAT161A	QUI146A	MAT164A	
3318	22	DCC077A		MAT161A	QUI146A	MAT164A	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3404	7						
3404	8	EST031A	EST038A	EST031A	EST038A		
3404	9	EST031A	EST038A	EST031A	EST038A		2041007A
3404	10	FIS087A	211031A	EST028A	211031A	EST028A	2041007A
3404	11	FIS087A	211031A	EST028A	211031A	EST028A	
3404	12						
3404	13			2035016A			
3404	14	FIS094A	MAT032A	2035016A	MAT032A	EST059B	
3404	15	FIS094A	MAT032A	2035016A	MAT032A	EST059B	
3404	16	DCC100A	2035028A	2035016A	2035028A	EST059B	
3404	17	DCC100A	2035028A		2035028A	EST059B	
3404	18						
3404	19	DCC086A	QUI146A	FIN001B	FIN001B	2041007A	
3404	20	DCC086A	QUI146A	FIN001B	FIN001B	2041007A	
3404	21			DCC086A	QUI146A		
3404	22			DCC086A	QUI146A		
3406	7						
3406	8	FIS041A	211012A	FIS041A	211012A	MA13A	MA13A
3406	9	FIS041A	211012A	FIS041A	211012A	MA13A	MA13A
3406	10	FIS087A	FIS098A	2035005A	FIS098A	MA13A	MA13A
3406	11	FIS087A	FIS098A	2035005A	FIS098A	MA13A	MA13A
3406	12						
3406	13						
3406	14	DCC064A	DCC066A	DCC064A	DCC066A	2028031A	
3406	15	DCC064A	DCC066A	DCC064A	DCC066A	2028031A	
3406	16	QUI104A	QUI104A		QUI001A	2028031A	
3406	17	QUI104A	QUI104A			2028031A	
3406	18						
3406	19	DCC166A	QUI146A		DCC146A	DCC165A	
3406	20	DCC166A	QUI146A		DCC146A	DCC165A	
3406	21	DCC165A	DCC146A	DCC166A	QUI146A		
3406	22	DCC165A	DCC146A	DCC166A	QUI146A		
3501	7						
3501	8	FIS051A	FIS033A	212031A	FIS033A	FIS051A	
3501	9	FIS051A	FIS033A	212031A	FIS033A	FIS051A	2041007A
3501	10	FIS087A	212005A	212031A			2041007A
3501	11	FIS087A	212005A	212031A			
3501	12						
3501	13						
3501	14	FIS120A	2035003A	QUI102A	FIS120A	2035003A	
3501	15	FIS120A	2035003A	QUI102A	FIS120A	2035003A	
3501	16	DCC100A	EST039A	QUI102A	EST039A		
3501	17	DCC100A	EST039A	QUI102A	EST039A		
3501	18			2035015A	2035015A		
3501	19	MAT164A		2035015A	2035015A	2041007A	
3501	20	MAT164A				2041007A	
3501	21			QUI079A	QUI079A	MAT164A	
3501	22			QUI079A	QUI079A	MAT164A	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
3504	7						
3504	8	FIS040A		FIS040A		MA35A	MA35A
3504	9	FIS040A		FIS040A	EST019A	MA35A	MA35A
3504	10	FIS087A	212044A	QUI096A	EST019A	MA35A	MA35A
3504	11	FIS087A	212044A	QUI096A	EST019A	MA35A	MA35A
3504	12						
3504	13						
3504	14	QUI096A	212040A	2035012A	2035012A	EST059A	
3504	15	QUI096A	212040A	2035012A	2035012A	EST059A	
3504	16	211020A	212040A	211020A	QUI001A	EST059A	
3504	17	211020A	212040A	211020A		EST059A	
3504	18				QUI128A		
3504	19	DCC134A	QUI146A	DCC077A	QUI128A		
3504	20	DCC134A	QUI146A	DCC077A	QUI128A		
3504	21	DCC077A		DCC134A	QUI146A		
3504	22	DCC077A		DCC134A	QUI146A		
S113	7						
S113	8	DCC119B	QUI154A	QUI106A	DCC119B	QUI077A	
S113	9	DCC119B	QUI154A	QUI106A	DCC119B	QUI077A	
S113	10	QUI125A	FIS110A	QUI077A	QUI125A		
S113	11	QUI125A	FIS110A	QUI077A	QUI125A		
S113	12						
S113	13						
S113	14	QUI094A	FIS074C		FIS074C	302007A	
S113	15	QUI094A	FIS074C		FIS074C	302007A	
S113	16	QUI125C	MAT158B	QUI153A	QUI125C	MAT158B	
S113	17	QUI125C	MAT158B	QUI153A	QUI125C	MAT158B	
S113	18			2035015A	2035015A		
S113	19	DCC154A	DCC061A	2035015A	2035015A	MAT155G	
S113	20	DCC154A	DCC061A			MAT155G	
S113	21	DCC061A	EST029D	MAT155G	EST029D	DCC154A	
S113	22	DCC061A	EST029D	MAT155G	EST029D	DCC154A	
S114	7						
S114	8	DCC119A	EST018C	MAT156B	DCC119A	MAT156B	
S114	9	DCC119A	EST018C	MAT156B	DCC119A	MAT156B	2041007A
S114	10	QUI142A	EST029A	QUI142A	EST029A		2041007A
S114	11	QUI142A	EST029A	QUI142A	EST029A		
S114	12						
S114	13	EST018C					
S114	14	EST018C	FIS073D	MAT157C	FIS073D	MAT157C	
S114	15		FIS073D	MAT157C	FIS073D	MAT157C	
S114	16	DCC100A	DCC013A	MAT155D	DCC013A	MAT155D	
S114	17	DCC100A	DCC013A	MAT155D	DCC013A	MAT155D	
S114	18						
S114	19	DCC119Y		EST001B	DCC119Y	2041007A	
S114	20	DCC119Y		EST001B	DCC119Y	2041007A	
S114	21	FIS085A	DCC160A	EST001B	DCC160A		
S114	22	FIS085A	DCC160A	EST001B	DCC160A		

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S209	7						
S209	8	QUI106B	FIS073B	MAT154B	FIS073B	MAT154B	
S209	9	QUI106B	FIS073B	MAT154B	FIS073B	MAT154B	
S209	10	QUI106B	MAT158A	MAT133A	MAT158A	MAT133A	
S209	11	QUI106B	MAT158A	MAT133A	MAT158A	MAT133A	
S209	12						
S209	13						
S209	14	EST001C	FIS073C	MAT156C	FIS073C	MAT156C	
S209	15	EST001C	FIS073C	MAT156C	FIS073C	MAT156C	
S209	16	EST001C		QUI153A	QUI001A		
S209	17	EST001C	DCC075A	QUI153A		DCC075A	
S209	18		DCC075A			DCC075A	
S209	19	FIS109A	DCC122A	MAT154G	DCC122A	MAT155E	
S209	20	FIS109A	DCC122A	MAT154G	DCC122A	MAT155E	
S209	21	DCC133A	DCC042A	MAT155E	DCC042A	MAT154G	
S209	22	DCC133A	DCC042A	MAT155E	DCC042A	MAT154G	
S210	7						
S210	8	QUI106B	FIS075A	MAT157B	FIS075A	MAT157B	
S210	9	QUI106B	FIS075A	MAT157B	FIS075A	MAT157B	
S210	10	QUI106B	MAT158D	MAT029B	MAT158D	MAT029B	
S210	11	QUI106B	MAT158D	MAT029B	MAT158D	MAT029B	
S210	12						
S210	13						
S210	14	FIS081A	MAT110A	FIS081A	MAT110A	QUI066A	
S210	15	FIS081A	MAT110A	FIS081A	MAT110A	QUI066A	
S210	16	QUI125D		MAT030A	QUI125D	MAT030A	
S210	17	QUI125D		MAT030A	QUI125D	MAT030A	
S210	18						
S210	19	DCC060A	MAT149B	DCC060A	DCC001A	MAT144A	
S210	20	DCC060A	MAT149B	DCC060A	DCC001A	MAT144A	
S210	21	DCC008F	MAT149B	MAT144A	DCC008F	DCC001A	
S210	22	DCC008F	MAT149B	MAT144A	DCC008F	DCC001A	
S301	7					QUI068A	
S301	8	QUI087A	FIS073E	QUI106A	FIS073E	QUI068A	
S301	9	QUI087A	FIS073E	QUI106A	FIS073E	QUI068A	
S301	10	QUI143A	QUI138B	QUI143A	QUI087A		
S301	11	QUI143A	QUI138B	QUI143A	QUI087A		
S301	12						
S301	13						
S301	14	FIS108A	FIS075D	MAT154C	FIS075D	MAT154C	
S301	15	FIS108A	FIS075D	MAT154C	FIS075D	MAT154C	
S301	16	FIS052A		MAT155C	FIS052A	MAT155C	
S301	17	FIS052A		MAT155C	FIS052A	MAT155C	
S301	18						
S301	19	DCC059A	FIS075H	MAT156E	FIS075H	MAT158C	
S301	20	DCC059A	FIS075H	MAT156E	FIS075H	MAT158C	
S301	21	MAT083A	MAT158C	DCC059A		MAT156E	
S301	22	MAT083A	MAT158C	DCC059A		MAT156E	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S302	7						
S302	8		QUI154A	MAT154A	QUI155A	MAT154A	
S302	9		QUI154A	MAT154A	QUI155A	MAT154A	
S302	10	DCC008A	FIS110A	MAT024A	DCC008A	MAT024A	
S302	11	DCC008A	FIS110A	MAT024A	DCC008A	MAT024A	
S302	12						
S302	13						
S302	14	DCC119C		QUI155A	DCC119C	QUI135A	
S302	15	DCC119C		QUI155A	DCC119C	QUI135A	
S302	16	DCC100A	EST029G	MAT163A	EST029G	MAT163A	
S302	17	DCC100A	EST029G	MAT163A	EST029G	MAT163A	
S302	18						
S302	19	FIS081B	FIS074H	FIS081B	FIS074H	MAT030B	
S302	20	FIS081B	FIS074H	FIS081B	FIS074H	MAT030B	
S302	21	QUI138A	MAT143A	MAT030B	MAT143A		
S302	22	QUI138A	MAT143A	MAT030B	MAT143A		
S304	7						
S304	8	QUI106B	FIS074B	MAT156A	FIS074B	MAT156A	
S304	9	QUI106B	FIS074B	MAT156A	FIS074B	MAT156A	
S304	10	QUI106B	QUI138B	MAT155B	QUI132A	MAT155B	
S304	11	QUI106B	QUI138B	MAT155B	QUI132A	MAT155B	
S304	12						
S304	13						
S304	14	DCC012A	FIS073F	DCC012A	FIS073F	2041011A	
S304	15	DCC012A	FIS073F	DCC012A	FIS073F	2041011A	
S304	16	DCC008C		QUI153A	DCC008C	2041011A	
S304	17	DCC008C		QUI153A	DCC008C	2041011A	
S304	18						
S304	19	DCC119X		MAT157E	DCC119X	MAT119A	
S304	20	DCC119X		MAT157E	DCC119X	MAT119A	
S304	21	QUI138A	DCC160B	MAT119A	DCC160B	MAT157E	
S304	22	QUI138A	DCC160B	MAT119A	DCC160B	MAT157E	
S308	7						
S308	8		FIS073A	MAT157A	FIS073A	MAT157A	
S308	9		FIS073A	MAT157A	FIS073A	MAT157A	
S308	10	QUI125B	QUI059A	2035005A	QUI125B	QUI059A	
S308	11	QUI125B	QUI059A	2035005A	QUI125B	QUI059A	
S308	12						
S308	13						
S308	14	DCC119D		MAT154D	DCC119D	MAT154D	
S308	15	DCC119D		MAT154D	DCC119D	MAT154D	
S308	16	DCC100A	EST029B	MAT029C	EST029B	MAT029C	
S308	17	DCC100A	EST029B	MAT029C	EST029B	MAT029C	
S308	18						
S308	19	QUI125E	MAT110B	MAT154F	MAT110B	MAT158C	
S308	20	QUI125E	MAT110B	MAT154F	MAT110B	MAT158C	
S308	21	QUI084A	MAT158C	QUI084A	QUI125E	MAT154F	
S308	22	QUI084A	MAT158C	QUI084A	QUI125E	MAT154F	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S309	7						
S309	8		FIS074A	MAT156B	FIS074A	MAT156B	
S309	9		FIS074A	MAT156B	FIS074A	MAT156B	
S309	10	DCC070A	MAT148A	DCC070A	MAT148A		
S309	11	DCC070A	MAT148A	DCC070A	MAT148A		
S309	12						
S309	13						
S309	14	FIS081C	MAT166A	FIS081C	MAT166A	212021A	
S309	15	FIS081C	MAT166A	FIS081C	MAT166A	212021A	
S309	16	DCC063A	MAT013A	DCC063A	MAT013A		
S309	17	DCC063A	MAT013A	DCC063A	MAT013A		
S309	18						
S309	19	QUI122A	QUI141A	MAT123A	DCC146A	MAT155F	
S309	20	QUI122A	QUI141A	MAT123A	DCC146A	MAT155F	
S309	21	FIS085A	DCC146A	MAT155F	QUI141A	MAT123A	
S309	22	FIS085A	DCC146A	MAT155F	QUI141A	MAT123A	
S401	7					QUI068A	
S401	8		FIS076A		FIS076A	QUI068A	
S401	9	EST008A	FIS076A	EST008A	FIS076A	QUI068A	2041007A
S401	10	EST008A	EST029C	EST008A	EST029C		2041007A
S401	11	EST008A	EST029C	EST008A	EST029C		
S401	12						
S401	13	QUI152A					
S401	14	QUI152A	MAT127A	MAT156D	MAT127A	MAT156D	
S401	15	QUI152A	MAT127A	MAT156D	MAT127A	MAT156D	
S401	16	DCC063A	DCC013B	DCC063A	DCC013B		
S401	17	DCC063A	DCC013B	DCC063A	DCC013B		
S401	18						
S401	19	QUI122A	FIS073I		FIS073I	2041007A	
S401	20	QUI122A	FIS073I		FIS073I	2041007A	
S401	21	DCC133A	EST029E	MAT029D	EST029E	MAT029D	
S401	22	DCC133A	EST029E	MAT029D	EST029E	MAT029D	
S402	7						
S402	8	QUI017A	FIS074A	QUI017A	FIS074A	MAT049A	
S402	9	QUI017A	FIS074A	QUI017A	FIS074A	MAT049A	2041007A
S402	10	DCC008B	MAT049A	MAT155A	DCC008B	MAT155A	2041007A
S402	11	DCC008B	MAT049A	MAT155A	DCC008B	MAT155A	
S402	12						
S402	13						
S402	14	DCC119E	EST018A	MAT157D	DCC119E	MAT157D	
S402	15	DCC119E	EST018A	MAT157D	DCC119E	MAT157D	
S402	16	DCC008D	EST018A	MAT163A	DCC008D	MAT163A	
S402	17	DCC008D	EST018A	MAT163A	DCC008D	MAT163A	
S402	18						
S402	19	DCC119X	MAT149A		DCC119X	2041007A	
S402	20	DCC119X	MAT149A		DCC119X	2041007A	
S402	21	QUI125F	MAT149A	MAT154E	QUI125F	MAT154E	
S402	22	QUI125F	MAT149A	MAT154E	QUI125F	MAT154E	

Sala	Horario	Segunda	Terca	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado
S404	7						
S404	8	DCC119A	212019A	QUI106A	DCC119A	QUI077A	
S404	9	DCC119A	212019A	QUI106A	DCC119A	QUI077A	
S404	10	FIS097A	212019A	QUI077A	DCC101A	FIS097A	
S404	11	FIS097A	212019A	QUI077A	DCC101A	FIS097A	
S404	12						
S404	13						
S404	14	FIS081C	FIS075C	FIS081C	FIS075C	DCC140A	
S404	15	FIS081C	FIS075C	FIS081C	FIS075C	DCC140A	
S404	16	DCC008E	MAT158B	DCC140A	DCC008E	MAT158B	
S404	17	DCC008E	MAT158B	DCC140A	DCC008E	MAT158B	
S404	18						
S404	19	FIS109A	DCC049A	MAT156E	DCC049A	DCC062A	
S404	20	FIS109A	DCC049A	MAT156E	DCC049A	DCC062A	
S404	21	MAT083A	MAT013B	DCC062A	MAT013B	MAT156E	
S404	22	MAT083A	MAT013B	DCC062A	MAT013B	MAT156E	

D Anexo IV: Instruções de Uso

D.1 Formatos dos dados de entrada

Os dados dos pedidos de disciplinas devem ser informados seguindo o padrão abaixo:

- Código
- Disciplina
- Professor
- Departamento
- Vagas
- Dia_da_Semana Hora_de_Inicio Hora_de_Termino
- Dia_da_Semana Hora_de_Inicio Hora_de_Termino

A estrutura é capaz de armazenar quantos horários a turma possuir.

Entre um pedido e outro na lista, deve-se ter uma linha em branco para separa-los.

O arquivo deve ter como nome "Pedidos" e deve ser um arquivo de texto puro (.txt)

Os dados das salas de aula devem ser informados seguindo o padrão abaixo:

- Código
- Capacidade

Entre uma sala e outra na lista, deve-se ter uma linha em branco para separa-las.

O arquivo deve ter como nome "Salas" e deve ser um arquivo de texto puro (.txt)

D.2 Formatos dos dados de saída

A solução (alocação completa das turmas) encontrada pelos algoritmos e os dados dos componentes da função objetivo são salvos em arquivos de planilhas (.csv). O arquivo de solução com as alocações é salvo no formato apresentado nos apêndices anteriores. O arquivo com os dados da função objetivo é salvo no formato de uma tabela simples, onde cada coluna está rotulada com o nome do componente que ela representa e seu conteúdo o valor do componente.

Para o caso do algoritmo genético, um arquivo adicional de planilha (.csv) contendo a ordem de alocação dos pedidos do melhor indivíduo também é gerado.

D.3 Passo a passo

Para utilizar o algoritmo genético desenvolvido deve-se seguir os seguintes passos:

- Colocar os arquivos com os pedidos e as salas na pasta raiz do programa.
- Executar o algoritmo.
- Verificar após o termino os arquivos de solução gerados na pasta raiz do programa.

Para utilizar o algoritmo de busca local desenvolvido deve-se seguir os seguintes passos:

- Colocar os arquivos com os pedidos e as salas na pasta raiz do programa.
- Executar o algoritmo.
- Verificar após o termino os arquivos de solução gerados na pasta raiz do programa.

D.4 Recomendações

Para a execução do algoritmo genético recomenda-se a utilização do ambiente de desenvolvimento Spyder³.

³<https://www.spyder-ide.org/>

Para a execução do algoritmo de busca local recomenda-se a utilização do ambiente de desenvolvimento NetBeans⁴.

⁴<https://netbeans.org/>