

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Uso de Abordagem Heurística para o Problema do Quadro de Horários e
Alocação de Salas de Aula**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jhonathan Alberto dos Santos Silveira

Santa Maria, RS

2018

USO DE ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA O PROBLEMA DO QUADRO DE HORÁRIOS E ALOCAÇÃO DE SALAS DE AULA

por

Jhonathan Alberto dos Santos Silveira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Métodos Quantitativos para a Tomada de Decisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Martins Müller

Santa Maria, RS

2018

Silveira, Jhonathan Alberto dos Santos
USO DE ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA O PROBLEMA DO QUADRO
DE HORÁRIOS E ALOCAÇÃO DE SALAS DE AULA / Jhonathan
Alberto dos Santos Silveira.- 2018.
83 p.; 30 cm

Orientador: Felipe Martins Müller
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, RS, 2018

1. Timetabling 2. Heurísticas e Meta-heurísticas 3.
Busca Tabu I. Müller, Felipe Martins II. Título.

**Universidade Federal De Santa Maria
Centro De Tecnologia
Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção**

A comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**USO DE ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA O PROBLEMA DO QUADRO DE
HORÁRIOS E ALOCAÇÃO DE SALAS DE AULA**

Elaborada por
Jhonathan Alberto dos Santos Silveira

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

.....
Felipe Martins Müller, Dr. (PPGEP/UFSM)
(Presidente/orientador)

.....
Vinícius Jacques Garcia, Dr. (PPGEP/UFSM)

.....
Nelson Hein, Dr. (PPGCC/FURB) - Vídeo Conferência

Santa Maria, RS

2018

AGRADECIMENTOS

Os últimos anos foram de muito trabalho e empenho na busca de mais conhecimento. Conciliar trabalho e estudo necessita de muita disciplina e estabelecimento de prioridades. Minhas prioridades e atenção aos estudos refletiram na minha ausência. Desta forma agradeço:

Em primeiro lugar, a Deus, por me permitir estar sempre bem e cuidar de mim durante as inúmeras viagens necessárias para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Roselaine e Clóvis pelo amor e apoio.

A namorada Gabrielli, por entender minha ausência em muitos momentos de nossa relação durante esse período, assim como pelo apoio e incentivo a este trabalho.

Aos meus colegas de IFFar pelo companheirismo e disponibilidade para troca de ideias.

Ao meu orientador, prof. Felipe Martins Müller, por ter me aceito como seu orientando, pela sua paciência, conhecimento e disponibilidade.

Aos professores Vinícius Jacques Garcia e Nelson Hein pelas contribuições dadas para este trabalho.

Aos amigos, pelos momentos de descontração e amizade, embora mais ausente durante esses 2 últimos anos.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria

Uso de Abordagem Heurística para o Problema do Quadro de Horários e Alocação de Salas de Aula

AUTOR: JHONATHAN ALBERTO DOS SANTOS SILVEIRA

ORIENTADOR: FELIPE MARTINS MÜLLER

Data e Local de Defesa: Santa Maria, 14 de setembro de 2018

Este estudo aborda o problema de elaboração do quadro de horários de professores e alocação de salas de aula no Instituto Federal Farroupilha - Campus Avançado Uruguaiana. Esta tarefa já é largamente conhecida por sua complexidade devido a necessidade de conciliar diversos recursos, tais como professores, horários de aula, salas, dentre outros. De maneira geral, esse processo é resolvido pelas instituições de ensino de forma manual, o que pode levar vários dias para ser concluído, razão pela qual, além de ser um trabalho árduo e demorado, muitas vezes não garante uma boa solução. O objetivo desse trabalho é desenvolver um novo quadro de horários e alocação de salas de forma a atender melhor as restrições do problema. Para isso, será realizado um procedimento construtivo guloso para encontrar uma solução inicial e logo após será aplicado o método meta-heurístico Busca Tabu como forma de aprimoramento da solução encontrada. Além disso, será desenvolvido um software para construir e gerenciar essa tarefa.

Palavras-chave: Quadro de horários. Complexidade. Busca Tabu.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Production Engineering Post-Graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

The use of a Heuristic Approach to the Timetabling and Classroom *Assignment Problem*

AUTHOR: JHONATHAN ALBERTO DOS SANTOS SILVEIRA

ADVISOR: FELIPE MARTINS MÜLLER

Place and date: Santa Maria, September 14, 2018

This study is about the problem to elaborate the teachers' timetabling and the classroom assignment in Instituto Federal Farroupilha - Campus Avançado Uruguaiana. This task is already known because of its complexity and the necessity to reconcile many resources, like teachers, classes, classrooms, among others. This process, is usually manually solved by the educational institutions, it can take many days to be completed, besides being a hard and delayed job, many times it doesn't ensure a good solution. The objective of this job is to develop a new timetabling and classroom allocation in order to better meet the constraints of the problem. To do it, it will be accomplished a greedy constructive procedure to find the initial solution and right after it, it will be applied a metaheuristic called Tabu Search as an enhancement way to the found solution. Besides, it will be developed an iterative software to build and manage this task.

Key words: *Timetabling. Complexity. Tabu Search.*

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Subdivisões do Timetabling	20
Figura 2 - Classes da Complexidade Computacional.....	21
Figura 3 - Ótimo Local e ótimo global. (Cordenonsi, 2008)	25
Figura 4 - Algoritmo básico de Busca Tabu.....	28
Figura 5 - Cursos Técnicos do IFFAR - Campus Avançado Uruguaiana	34
Figura 6 – Algoritmo de Alocação 1ª fase	48
Figura 7 – Apresentação da proposta de forma geral	51
Figura 8 - Cadastro de turma	52
Figura 9 - Cadastro de disciplina que necessita laboratório.....	53
Figura 10 - Preferências de disciplinas por professor	54
Figura 11 - Identificação e Funções administrativas do professor.....	55
Figura 12 - Cadastro de disponibilidade do professor	56
Figura 13 - Construção Gulosa	57
Figura 14 - Algoritmo BT	58
Figura 15 - Alocação professor X disciplina X turma.....	62
Figura 16 - Horário turma Adm2 manhã - proposta.....	63
Figura 17 - Horário turma Adm2 manhã – manual	63
Figura 18 - Horário turma Adm2 tarde - proposta.....	64
Figura 19 - Horário da turma Adm2 tarde- manual.....	64
Figura 20 - Horário turma Adm4 tarde - proposta.....	64
Figura 21 - Horário turma Adm4 tarde – manual	64
Figura 22 - Horário turma Info2 manhã - proposta	65
Figura 23 - Horário da turma Info2 manhã – manual.....	65
Figura 24 - Horário turma Info2 tarde – proposta	65
Figura 25 - Horário turma Info2 tarde – manual	65
Figura 26 - Horário Info4 tarde – proposta	66
Figura 27 - Horário Info4 tarde – manual	66
Figura 28 - Horário turma Info2 noite - proposta	66
Figura 29 - Horário turma Info2 turma noite – manual.....	66
Figura 30 - Tela inicial	68
Figura 31 - Assistente de horário	69
Figura 32 - Tela de Informações	69

Figura 33 - Menu principal.....	70
Figura 34 - Cadastro de professor.....	70
Figura 35 - Cadastro de curso.....	71
Figura 36 - Cadastro de disciplina.....	72
Figura 37 - Cadastro de turma	72
Figura 38 - Cadastro de sala	73
Figura 39 - Cadastro de eixo	73
Figura 40 - Grade de horário por professor	74
Figura 41 - Grade de horário por turma.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos meta-heurísticos e autores	26
Quadro 2 - Distribuição das salas/laboratórios e capacidade	34
Quadro 3 - Disposição dos slots.....	42
Quadro 4 - Representação de uma solução inicial.....	43
Quadro 5 - Movimento de realocação	43
Quadro 6 - Movimento de troca.....	44
Quadro 7 – Custo da relação professor X disciplina	47
Quadro 8 - Peso relacionado a cada opção	54
Quadro 9 - Cursos ofertados.....	59
Quadro 10 - Disciplinas do curso técnico em administração.....	60
Quadro 11 – Disciplinas do curso técnico de informática para internet.....	60
Quadro 12 - Disciplinas do curso técnico em informática.....	60
Quadro 13 - Salas e laboratórios disponíveis.....	61
Quadro 14 - Relação de professores	61
Quadro 15 - Relação de turmas no ano de 2017	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BT - Busca Tabu
CGE - Coordenação Geral de Ensino
CT - Centro de Tecnologia
CRA - Coordenação de Registros Acadêmicos
EM - Ensino Médio
FIC - Formação Inicial e Continuada
GRASP- *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*
ICEB - Instituto de Ciência Exatas e Biológicas
IE - Instituição de Ensino
IFFAR - Instituto Federal Farroupilha
NB - Núcleo Básico
NP - Núcleo Politécnico
NT - Núcleo Tecnológico
PAPD - Problema de Alocação de Professores a Disciplinas
PAPDT - Problema de Alocação de Professores a Disciplinas e a Turmas
PAPDHS - Problema de Alocação de Professor/Disciplina a Horário e a Sala
PAPDTHS - Problema de Alocação de Professor/Disciplina/Turmas a Horário e a Sala
PAS - Problema de Alocação de Salas
PGA - Problema Generalizado de Atribuição
PHE - Programação de Horários Escolares
PLI - Programação Linear Inteira
PPC - Projeto Pedagógico de Curso
PQHAS - Problema de Quadro de Horários e Alocação de Salas
RAD - Regulamentação de Atividade Docente
STP - *School Timetabling Problem*
UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Estrutura da Dissertação	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 <i>Timetabling</i>	18
2.2 Complexidade Computacional	20
2.3 Otimização Combinatória e Programação Linear	22
2.4 Heurística.....	23
2.4.1 Heurísticas Construtivas	24
2.4.2 Heurísticas de Melhoramento (Busca Local).....	24
2.4.3 Meta-heurísticas.....	25
2.5 Busca Tabu.....	27
2.6 Trabalhos Relacionados	28
3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	33
3.1 Contextualização do Campus Avançado Uruguaiana.....	33
3.1.1 Problema de Quadro de horário e Alocação de Salas no Campus	35
3.2 Tipos de Cursos e suas Disciplinas	35
3.3 O Problema Quanto a seus Requisitos.....	37
3.3.1 Professores e Carga Horária De Trabalho	37
3.3.2 Preferências dos Professores	37
3.3.3 Indisponibilidades.....	37
3.4 Requisitos Essenciais e Não Essenciais	38
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
4.1 Aplicação do Modelo ao Estudo	40
4.1.1 Definição do Problema.....	41

4.1.2	Representação do Problema.....	41
4.1.3	Geração da Solução Inicial	42
4.1.4	Caracterização da Vizinhança.....	43
4.1.5	Formulação e Construção do Modelo	44
4.1.6	Desenvolvimento do Procedimento Computacional	44
4.1.7	Validação e Avaliação do Modelo	44
4.1.8	Implementação do Modelo	45
5.	O PROBLEMA NO IFFAR – URUGUAIANA	46
5.1.	Definição do Problema.....	46
5.2	Subproblema Professor x Disciplina x Turma	47
5.2.1.	Estrutura do Subproblema	47
5.2.2	Solução Inicial	48
5.3	Subproblema Professor/Disciplina/Turma x Horário x Sala	49
5.3.1	Formulação do Problema	50
5.3.2	Algoritmo Proposto.....	51
6.	IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	59
6.1	Coleta de Dados	59
6.2	Análise das Soluções.....	62
7.	SOFTWARE.....	67
7.1	Java	67
7.2	MySQL.....	68
7.3	Interfaces do Software.....	68
8.	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	75
8.1	Conclusão.....	75
8.2	Trabalhos Futuros.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar o ano letivo, coordenadores de ensino elaboraram as grades horárias das turmas e cursos. Essa tarefa significa alocar, numa grade horária semanal, professores, salas de aula e laboratórios para cada turma de alunos, respeitando as exigências curriculares e as restrições de disponibilidade de cada recurso. De acordo com Cooper e Kingston (1993), este problema também é chamado de *School Timetabling Problem* (STP) e consiste em atribuir professores, alunos e salas de aula para uma coleção de turmas, de tal forma que nenhum participante é obrigado a comparecer a duas aulas simultaneamente.

Quando se trata de Instituições de Ensino (IE), a programação de horários é algo muito importante, pois influencia diretamente na vida de funcionários, alunos e professores. Uma vez implementado um quadro de horários, este normalmente é utilizado durante todo o período letivo, fazendo com que, em várias situações, alunos e professores tenham que se adaptar a ele, pois as soluções geralmente não atendem a todos os interesses e disponibilidade dos envolvidos. (CARVALHO, 2011)

Na literatura científica, o tema do trabalho é conhecido como *timetabling* e é aplicado a sistemas de ensino que consistem em agendar uma sequência de encontros (aulas, exames, bancas, palestras ou qualquer outro tipo de atividade escolar) entre instituição, professores e estudantes em um período de tempo prefixado, satisfazendo um conjunto de restrições de variados tipos. (PAIM e GREIS, 2008)

Burke, Werra e Kingston (2003), definem o problema de *timetabling* através de quatro parâmetros: T, um conjunto finito de horários (*times*); R, um conjunto finito de recursos (*resources*); M, um conjunto de eventos (*meeting*); e C, um conjunto de restrições (*constraints*). O problema está em associar horários aos eventos, buscando satisfazer as restrições da melhor forma possível.

Ainda como parte deste trabalho, pretende-se fazer a distribuição das salas de aula que, segundo Bardadym (1996), é tratada como parte integrante do problema de programação de cursos universitários (*Course Timetabling*) ou como um problema derivado dele (*Classroom Assignment Problem*). Esta etapa, conhecida como PAS (Problema de Alocação de Salas), considera que existem horários pré-estabelecidos de início e término das aulas e um conjunto de salas onde ocorrerão as mesmas. Assim, o problema incide em determinar uma alocação das turmas em salas de aula

de forma que requisitos considerados “essenciais” sejam acatados, tornando a solução viável (SILVA e SILVA, 2010).

Além disso, com o aumento do número de cursos e alunos nas Instituições, esse problema torna-se cada vez mais complexo, uma vez que há certa escassez de salas de aula. Para Silva (2005), por se tratar de um problema altamente combinatório, a resolução manual desse problema pode demandar muito tempo e esforço por parte dos responsáveis e, mesmo feito assim, não se tem a garantia de que seja obtida uma solução melhor. Para Souza, Martins e Araújo (2002a; 2002b) em função de situações como essa, uma atenção especial vem sendo dada à automação desse problema.

Atualmente, o Instituto Federal Farroupilha (IFFAR) - Campus Avançado Uruguaiana vem enfrentando situação semelhante, onde o aumento significativo do número de cursos técnicos tem contribuído para o aumento da oferta de disciplinas, bem como a demanda por salas de aula e laboratórios. Assim, a cada ano a complexidade do problema aumenta, tendo em vista os novos cursos, o crescimento do número de alunos, assim como das disciplinas disponibilizadas pelos cursos.

Desta feita, o objetivo deste estudo é propor um novo quadro de horário com a distribuição das salas de aula do IFFAR - Campus Avançado Uruguaiana. Também será desenvolvido um software que possa auxiliar a CGE (Coordenação Geral de Ensino) nas próximas distribuições de horários.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diversas IE se deparam com problemas de programação de horários e alocação de salas de aula durante o início de cada semestre letivo. Algumas ainda tentam resolver o problema manualmente, o que torna o processo árduo e demorado, podendo levar vários dias para ser concluído.

De forma geral, esse problema possibilitou que o meio acadêmico pense em uma forma de gerar um quadro de horário de forma automática e, ao mesmo tempo, de melhor qualidade em relação aos gerados manualmente.

Entre os métodos computacionais, Carvalho (2011) afirma que os de otimização têm sido amplamente empregados para resolver esse problema. Tais métodos têm como objetivo procurar uma solução de qualidade que atenda as restrições impostas pelo problema.

Na otimização da construção de grade horária utiliza-se basicamente dois métodos para designação: exato e heurístico. O primeiro encontra a melhor solução (solução ótima) para o problema quando esta solução existe, satisfazendo todas as restrições impostas. O segundo procura uma solução, mas não garante que esta seja a solução ótima (GÓES, 2005).

Os métodos exatos empregados na resolução desse tipo de problema podem consumir tempos de ordem exponencial, ainda que sejam em dimensões medianas. Portanto, a utilização exclusiva de algoritmos exatos se torna praticamente inviável. Em vista disso, se faz necessário recorrer a outras técnicas na tentativa de obter uma solução de qualidade, isto é, próxima a solução ótima e em tempos computacionais baixos. As técnicas heurísticas, de maneira geral, possuem esse perfil, sendo as meta-heurísticas as mais indicadas por serem capazes de escapar de ótimos locais. (SOUZA et al., 2002a; SILVA e SILVA, 2010)

Ainda, cabe salientar que o Problema de Quadro de horários e Alocação de Salas é um problema clássico de otimização combinatória pertencente à classe NP-hard/NP-Difícil (EVEN, ITAI e SHAMIR, 1976; CARTER e TOVEY, 1992). E, de acordo com Müller (1993, p.8), um problema de otimização NP-difícil “sugere que não é sempre possível encontrar a solução ótima de uma maneira rápida, todavia, ainda é possível o uso de algoritmos aproximados (algoritmos heurísticos) para encontrar soluções que, provavelmente, são próximas da ótima”.

Os métodos heurísticos são amplamente utilizados para resolução de problemas de complexidade NP-Difícil, onde incluem-se os problemas de alocação de horários. Estes métodos são conhecidos por encontrar soluções satisfatórias, não necessariamente ótimas em tempo computacional aceitável. Entre os métodos heurísticos de melhor eficiência, destacam-se aqueles baseados em técnicas de busca local como *Tabu Search* (Busca Tabu), *Simulated Annealing* e VNS/VND. (SANTOS, 2007)

Logo, este trabalho tem como objetivo propor um novo quadro de horário com a alocação de salas. Para tanto, será aplicada uma técnica heurística para resolver o problema do IFFar - Campus Avançado Uruguaiana. A técnica a ser usada será dividida em dois momentos: o primeiro é a geração da solução inicial, usando um algoritmo construtivo guloso e no segundo será aplicado um algoritmo Meta-Heurístico Busca Tabu (BT), tendo em vista seu alto desempenho na resolução de várias classes

de problemas de programação de horários. (WHITE *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2004; ALVAREZ-VALDÉS *et al.*, 2001; HERTZ, 1991)

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Desenvolver um novo quadro de horários com a alocação de salas para o IFFar.

Objetivos Específicos:

- Propor um modelo computacional de alocação de horários e salas de aula para o IFFar;
- Aplicar o modelo computacional na alocação de horários e salas de aula para o IFFar;
- Analisar o modelo computacional (desenvolvido e aplicado) na alocação de horários e salas de aula do IFFar;

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está organizado da seguinte forma.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica acerca do *Timetabling*. A descrição do problema é tratada no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos. O problema do IFFAR – Uruguaiana é tratado no capítulo 5. O capítulo 6 mostra a implementação do problema. O software desenvolvido é apresentado no capítulo 7 e, por fim, o capítulo 8 apresenta a conclusão e a indicação de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os temas que norteiam este trabalho e embasam a proposta que será desenvolvida. Na seção 2.1 apresenta-se o *Timetabling* e suas ramificações, em especial a que o *Course Timetabling* está inserido. Nas Seções 2.2 e 2.3 uma breve explanação sobre complexidade computacional e otimização combinatória, enquanto que na Seção 2.4 uma revisão sobre heurísticas e meta-heurísticas. Já na seção 2.5 é apresentada a meta-heurística Busca Tabu. E para finalizar, na Seção 2.6, alguns trabalhos que foram desenvolvidos nos últimos anos sobre o tema.

2.1 TIMETABLING

Devido à sua grande importância prática, o problema de quadro de horários tem sido investigado intensivamente desde 1960, quando Gotlieb (1962) apresentou a primeira formulação completa para o STP, dizendo que o problema consistia em fixar um conjunto de aulas de uma turma num determinado período de tempo, exigindo-se o comparecimento de um único professor. Esta versão clássica do STP mostrou-se *NP-Complete* por Even, Itai e Shamir (1976). Para Elmohamed, Coddigton e Fox (1997), o *timetabling* é um problema combinatório de otimização multidimensional, não euclidiano, multirrestrito e, conseqüentemente, muito difícil de ser resolvido. Alvarez-Valdes, Crespo e Tamarit (2002) apontam que a grande quantidade de entidades envolvidas nesse processo (turmas, professores, salas, etc.) resulta num enorme número de variáveis e restrições.

A PHE (programação de horários escolares) tem sido alvo de diversas pesquisas nas áreas de Teoria da Computação e Pesquisa Operacional. Santos e Souza (2007) apresentam algumas das razões para este interesse, senão vejamos:

Dificuldade de Resolução: encontrar um quadro de horários que satisfaça todos os interesses envolvidos é uma tarefa difícil, pois a simples construção de um quadro de horários válido já é uma tarefa complicada;

Importância Prática: a confecção de um bom quadro de horários pode melhorar a satisfação do corpo docente e permitir que a instituição de ensino seja mais eficiente na gestão desse tipo de problema, sendo este um dos grandes

objetivos das pesquisas correntes em computação, matemática e pesquisa operacional.

De acordo com Ross *et al.* (1999, p.2), "*Timetabling* é, em essência, um problema de escalonamento sujeito a restrições, onde os eventos são considerados como instâncias ou recursos do problema, ou, ainda, coleção de eventos que devem acontecer dentro de um período finito de tempo." Assim, os recursos não podem ser requisitados por 2 ou mais eventos ao mesmo tempo.

Segundo Qu *et al.* (2009), esse tipo de problema surge em diversas formas como *educational timetabling*, *nurse scheduling*, *sports timetabling*, assim como *transportation timetabling*. Para Burke, Petrovic e Qu (2006), um problema genérico de *timetabling* inclui a programação de certo número de eventos (exames, cursos, encontros) em um limitado número de períodos de tempo, enquanto satisfaz, tanto quanto possível, o maior número de restrições requeridas (POULSEN, 2012).

De acordo com Schaerf (1999), o problema de *timetabling* pode ser classificado em três principais classes:

School Timetabling: programação semanal de horários de professores ou turmas em escolas, onde o estudante deve cursar um número fixo de disciplinas, evitando-se que professores tenham duas aulas no mesmo tempo e vice-versa.

Course Timetabling: programação semanal de horários de disciplinas para todos os períodos dos cursos universitários, minimizando sobreposição de disciplinas nos cursos que tem estudantes em comum.

Examination Timetabling: problemas de exames para cursos universitários em que se busca, a) evitar sobreposições de datas e exames de disciplinas que possuem estudantes em comum e b) distanciar as datas dos exames dos estudantes o máximo possível.

Alvarez-Valdes, Crespo e Tamarit (2002, p.512) salientam que a atribuição dos horários, espaços e disciplinas deve satisfazer as restrições materiais, assim como outras condições relacionadas em como cada universidade quer organizar seu ensino. A dificuldade nesse tipo de problema é "relacionada ao próprio tamanho do problema, pois envolve um grande número de estudantes, professores, disciplinas e salas ligadas de várias maneiras pelos objetivos e condições".

Ademais, o *University Timetabling* pode ser descrito em outros subproblemas como: *Course Timetabling*; *Class-Teacher Timetabling* (Horário professor-turma);

Student Scheduling (Horário dos estudantes); *Teacher Assignment* (Alocação de professores) e *Classroom Assignment* (Alocação de Salas) (CARTER e LAPORTE, 1996), como apresentado na Figura 1.

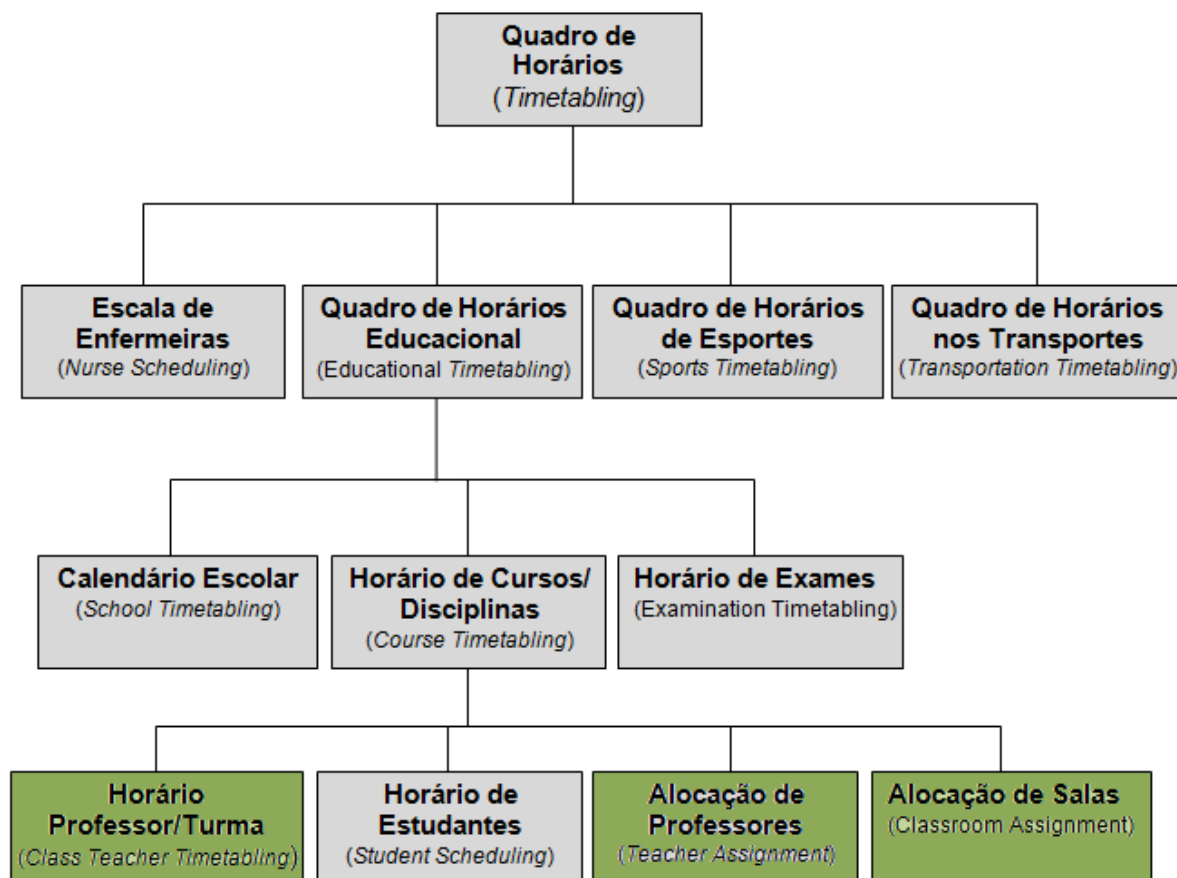


Figura 1 - Subdivisões do Timetabling

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Carter e Laporte (1996) apud Sales (2015).

Segundo Santos e Souza (2007), estes problemas atraem grande interesse, devido, além das próprias dificuldades de solução de problemas reais, que normalmente envolvem múltiplos e conflitantes objetivos, a sua importância prática, dado o seu largo espectro de aplicações e importância teórica.

2.2 COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL

Segundo Spindler (2010), a Complexidade Computacional é o ramo da teoria da computação dedicado à análise da complexidade de algoritmos por considerações matemáticas. Isso torna possível a classificação de problemas de otimização combinatória dentro de classes de complexidade, a partir do levantamento de recursos

computacionais necessários para sua solução, tipicamente avaliados em função do seu tamanho da entrada do algoritmo.

A Teoria da Complexidade torna possível a “classificação eficiente da classe em que o problema de otimização combinatória se encontra, podendo determinar o grau de dificuldade para resolução do problema” (FILHO, 2008, p.9).

Essa classificação é conhecida como teoria de *NP-completude* para os problemas de Otimização Combinatória. Desta forma, os problemas de otimização combinatória podem ser distribuídos em quatro classes (GAREY e JOHNSON, 1999):

- *P (Polinomial Time)*: problemas de decisão podem ser resolvidos por algoritmos polinomiais em função do tamanho, isto é, P representa o conjunto de problemas classificados como tratáveis e passíveis de solução de forma eficiente;
- *NP (Non Deterministic Polinomial Time)*: problemas de decisão que podem ser resolvidos por algoritmos não-determinísticos polinomiais no tamanho da entrada, ou cuja solução possa ser verificada em tempo polinomial;
- *NP-Completo*: subconjunto de NP, é composto pelos problemas para os quais existe uma redução em tempo polinomial a partir de qualquer problema NP;
- *NP-Difícil*: composto pelos problemas de otimização que podem ser resolvidos através de um número polinomial de soluções de um problema NP-completo;

Spindler (2010) afirma que é possível ver a relação existente entre as classes de problemas na Figura 2.

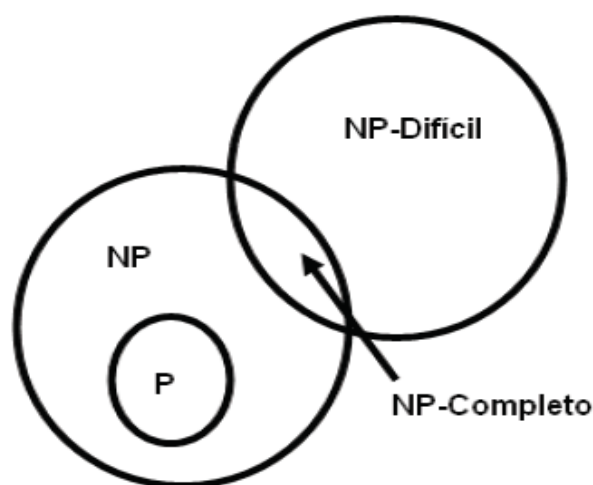


Figura 2 - Classes da Complexidade Computacional
Fonte: Elaborado por Spindler (2010), baseado em Garey e Johnson (1999).

De acordo com Colin (2007, p.395), o grau de dificuldade com que se resolve um problema é medido pela complexidade computacional de sua solução, medida essa que também serve para avaliar a qualidade dos algoritmos. Logo, a complexidade computacional pode ser definida como “uma medida de tempo de solução da memória necessária ou de qualquer outra unidade que analise a utilização de um determinado algoritmo”.

Assim, o objeto deste estudo é considerado um problema NP-difícil por Even et al. (1976).

2.3 OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA E PROGRAMAÇÃO LINEAR

A denominação otimização combinatória é um ramo da matemática e da ciência da computação que analisa problemas de otimização em conjuntos, geralmente dentro de um limite de tempo (CORDENONSI, 2008).

Segundo Blum e Roli (2003), muitos problemas de otimização combinatória com importância teórica e prática consistem na busca de uma melhor solução para um conjunto de objetivos. Entende-se por otimização o processo de encontrar e comparar soluções factíveis, até que nenhuma outra solução melhor possa ser encontrada.

A formulação matemática de um problema de otimização combinatória apresenta uma função e um conjunto de requisitos ou restrições, ambos relacionados às variáveis de decisão que fornecem um valor único a uma solução específica. Em um problema de otimização, essa função, denominada função objetivo, deve ser minimizada ou maximizada. (PAPADIMITRIOU e STEIGLITZ, 1982)

Para muitos problemas de otimização, a obtenção de algoritmos eficientes é difícil. Assim, uma alternativa é a modelagem desses problemas, facilitando a obtenção de algoritmos mais eficientes. Os modelos são representações simplificadas que preservam para determinadas situações uma equivalência da realidade, tornando os problemas mais claros. Para a resolução de problemas e Otimização Combinatória pode-se considerar várias técnicas, tais como: Algoritmos Exatos; Algoritmos heurísticos; Algoritmos aproximativos; Programação linear (PL) e Programação inteira (PI). (GOLDBARG e LUNA, 2005)

A programação linear consiste na “alocação ótima de recursos escassos para a realização de atividades” (COLIN, 2007, p.5). Andrade (2011, p.26) elucida que os

problemas de alocação de recursos “tratam da atribuição e distribuição de recursos entre as diversas tarefas ou atividades que devem ser realizadas”. Logo, busca-se encontrar a melhor distribuição possível dos recursos entre as tarefas/atividades de modo a atingir um valor ótimo do objetivo firmado.

Conforme Colin (2007), os problemas de otimização possuem um modelo geral a partir da programação Linear:

- As variáveis, as quais se tem poder para ajustar, ou seja, variáveis de decisão;
- Os parâmetros, que são variáveis e que não se pode alterar;
- A função-objetivo, que define e mensura o principal objetivo;

Ainda, Colin (2007, p.399) ressalta que, quando se sabe que um problema de otimização é NP-difícil, “tem-se a certeza de que nem sempre a solução ótima será encontrada em tempo hábil”.

No geral, existe um volume de problemas de otimização que são difíceis de resolver através de algoritmos exatos. Exemplos clássicos de otimização combinatória são o Problema do Caixeiro Viajante, Problema da Mochila, Coloração de Grafos, *Timetabling Problem*, *Scheduling Problems*, dentre outros.

2.4 HEURÍSTICA

De acordo com Holanda (1986), o termo "heurística" refere-se a uma abordagem utilizada em um conjunto com diversas regras e métodos que conduzem a descoberta, à invenção e a resolução de problemas. Esta expressão tem vários significados, sendo que neste trabalho apresenta-se como uma abordagem que não irá garantir que os algoritmos propostos chegarão aos melhores resultados. (BRANDÃO, 2002)

Estratégias heurísticas de solução apoiam-se, em geral, em alguma abordagem intuitiva, na qual a estrutura particular do problema pode ser explorada de forma inteligente, a fim de obter uma solução satisfatória (SILVER, 2004).

Soluções heurísticas não garantem a otimização do problema ao qual elas são aplicadas, porém podem fornecer uma solução que se encontra, pelo menos, próxima da ótima (COLIN, 2007; HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

Segundo Cordenonsi (2008), uma heurística é um procedimento algorítmico desenvolvido através de um modelo cognitivo, usualmente através de regras

baseadas na experiência de desenvolvedores. Cordenonsi (2008), ainda traz em seu trabalho a definição de heurística usada por Rich e Knight em 1993:

Para resolver eficientemente muitos problemas difíceis, geralmente é necessário comprometer as exigências de mobilidade e sistematicidade e construir uma estrutura de controle que não garanta encontrar a melhor resposta, mas que quase sempre encontre uma resposta muito boa. ... a heurística é uma técnica que melhora a eficiência de um processo de busca, possivelmente sacrificando pretensões de completeza. (RICH, KNIGHT, 1993 apud CORDENONSI, 2008)

Evans e Minieka (1992) classificam as heurísticas em duas classes:

- Heurísticas construtivas: são aquelas que constroem uma solução passo a passo, adicionando um componente dessa solução por vez;
- Heurísticas de melhoramento: são aquelas que partem de uma solução construída (solução inicial) e a melhoram por meio de uma sequência de movimentos.

2.4.1 Heurísticas Construtivas

Os algoritmos construtivos, ou simplesmente heurísticas construtivas, partem de uma solução vazia, inserindo elemento a elemento, seguindo um certo critério heurístico até gerar a solução por completo. (CORDENONSI, 2008)

De acordo com Spindler (2010), as heurísticas construtivas podem fazer uso de dois métodos:

- O método aleatório, sendo considerado como a heurística de construção mais simples.
- O método de construção gulosa, bastante utilizado e baseado no incremento da solução a cada passo, onde o elemento a incluir é determinado por uma função heurística.

Os procedimentos heurísticos gulosos, de certa forma, geram soluções de qualidade muito superior à média das soluções aleatórias. (CORDENONSI, 2008)

2.4.2 Heurísticas de Melhoramento (Busca Local)

Filho (2008) afirma que as heurísticas de melhoramento iniciam-se com uma solução inicial e trabalham no melhoramento da solução atual por meio da realização de passos sucessivos. Estes passos realizam a exclusão e inclusão de novos resultados, de forma a pesquisar a vizinhança da solução em busca de uma melhor qualidade. O termo vizinhança se refere aos novos espaços de busca das soluções, que podem ser alcançadas por meio de um movimento. Por movimento em um espaço de busca entende-se a aplicação de uma regra ou função que altere a solução atual, gerando uma nova solução.

Esse tipo de heurísticas possui um processo de parada, normalmente quando nenhum outro movimento melhora o resultado atual, o que é considerado um ótimo local. O ótimo local pode ser o ótimo global, ou seja, a melhor solução possível para o problema, mas não há garantias em relação a este fato, assim como em todos os procedimentos heurísticos. Desta forma, um algoritmo pode parar e exibir como resposta um ótimo local, ignorando as possibilidades que poderiam levar a um ótimo global mais tarde. (FILHO, 2008). Na Figura 3 é representada esta situação:

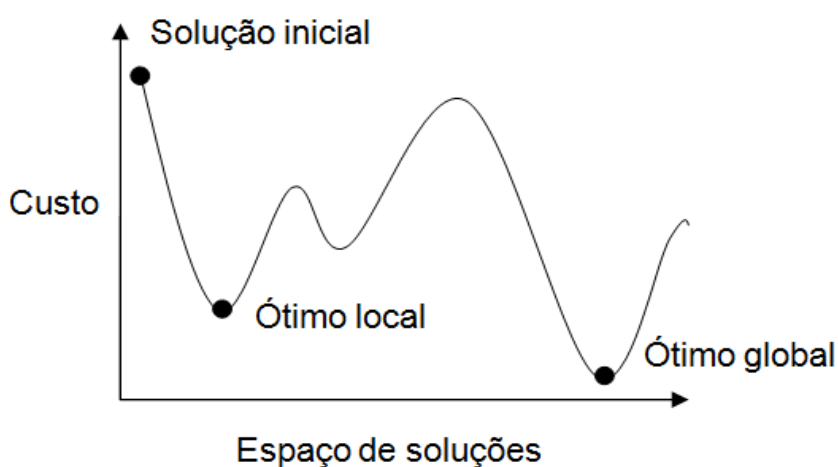


Figura 3 - Ótimo Local e ótimo global. (Cordenonsi, 2008)

2.4.3 Meta-heurísticas

Meta-heurísticas são métodos heurísticos independentes de problemas específicos. Uma meta-heurística pode ser utilizada na resolução de problemas pertencentes a diversos contextos, pois oferece o raciocínio ou a abordagem a ser seguida, estes não se relacionando aos detalhes do problema (Martins, 2010).

Segundo Ribeiro (1996), as meta-heurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em

cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico.

Prado (2014) menciona em seu trabalho a definição de meta-heurística usada por Glover e Kocheberger em 2003:

Definem meta-heurística como sendo métodos de resolução que orquestram uma interação entre procedimentos de melhoria local e diferentes estratégias de busca, para criar um procedimento capaz de escapar de ótimos locais e realizar uma pesquisa mais robusta no espaço de soluções. (GLOVER E KOCHBERGER, 2003 apud PRADO, 2014)

Diferentemente das heurísticas convencionais, as meta-heurísticas são de caráter geral e têm condições de escapar de ótimos locais. As meta-heurísticas, assim como os métodos de busca local tradicionais, diferenciam-se entre si basicamente pelas seguintes características (Souza, 2000):

- a) critério de escolha de uma solução inicial;
- b) definição da vizinhança N(s) de uma solução s;
- c) critério de seleção de uma solução vizinha dentro de N(s);
- d) critério de término;

Dentre as principais meta-heurísticas existentes na literatura, destacam-se:

Meta-heurística	Autor
Algoritmos Genéticos	Goldberg, 1989
Algoritmos Meméticos	Moscato, 1989
<i>Ant Colony Systems</i> (Colônia de Formigas)	Dorigo, 1991
<i>Simulated Annealing</i>	Kirkpatrick, Gellati & Vecchi, 1983
<i>Tabu Search</i> (Busca Tabu)	Glover, 1986
<i>GRASP</i> (<i>Greedy Randomized Adaptive Procedure</i>)	Feo & Resende, 1994
<i>Variable Neighborhood Search</i> (VNS) e <i>Variable Neighborhood Descent</i> (VND)	Mladenovic e Hansen, 1997, 1999

Quadro 1 – Métodos meta-heurísticos e autores

Dentre as meta-heurísticas que tem sido aplicadas no problema de *Timetabling* destaca-se o uso de *Simulated Annealing* (Souza, Martins e Araújo, 2002a), Algoritmos Genéticos (Wang et al., 2002), Colônia de Formigas (Middendorf et al., 2002) e Busca Tabu (Schaefer, 1999; Souza et al., 2002) (HERNÁNDEZ-DÍAZ et al., 2006; SUBRAMANIAN et al., 2011). Para este trabalho far-se-á o uso da meta-heurística Busca Tabu.

2.5 BUSCA TABU

O método Busca Tabu, proposto inicialmente por Glover (1986) e Hansen (1986), faz uso explícito de estruturas de memória para guiar métodos de descida, de modo que estes continuem a exploração mesmo na ausência de movimentos de melhora.

Em linhas gerais, a Busca Tabu é um procedimento adaptativo, de busca local, dotado de uma estrutura de memória que aceita movimentos de piora (quando não há possibilidades de melhora) para escapar de ótimos locais. (HIGGINS, 2001; SOUZA, 2000)

Para Cunha (2010), a meta-heurística Busca Tabu é um procedimento adaptativo auxiliar, o qual funciona, basicamente, como um método de busca local que consiste em explorar o espaço de busca, movendo-se de uma solução para outra, permitindo diversificar as soluções encontradas no processo de busca por uma solução melhorada, fazendo uso de um comportamento próprio para superar a otimalidade local e atingir um resultado ótimo ou próximo ao ótimo global. Para tanto, a partir de uma solução inicial, a busca move-se por sua vizinhança a fim de atingir uma solução melhor a cada iteração. Logo, não são aceitos movimentos que levem a soluções já visitadas, tendo em vista formarem uma lista chamada Tabu (lista de movimentos proibidos). Esta, por sua vez, permanece na memória guardando os movimentos visitados por um determinado tempo ou por um dado número de iterações.

Conforme Souza (2000), a Lista Tabu clássica contém os movimentos reversos aos últimos movimentos realizados e funciona como uma fila de tamanho fixo, isto é, quando um novo movimento é adicionado à lista, o mais antigo sai. A lista tabu, por um lado, reduz o risco de ciclagem (uma vez que ela garante o não retorno, por n iterações, a uma solução já visitada anteriormente) e, por outro, também pode proibir movimentos para soluções que ainda não foram visitadas. (WERRA, 1989)

Normalmente existem duas formas de interromper o procedimento: a primeira, quando é atingido um número máximo de iterações sem melhorar o valor da, até então, melhor solução e a segunda, quando o valor da melhor solução chega a um limite inferior conhecido (ou próximo dele). Este critério evita a execução desnecessária do algoritmo quando uma solução ótima é encontrada ou quando uma solução é julgada suficientemente boa. (SOUZA, 2000)

Em seu trabalho, Souza (2000) apresenta o pseudocódigo de um algoritmo de Busca Tabu básico, conforme a Figura 4.

ALGORITMO 1 - MÉTODO BUSCA TABU - BÁSICO

Entrada: S_0
Saída: S^*

```
1 início
2    $S \leftarrow S_0;$ 
    $S^* \leftarrow S_0;$ 
   enquanto (Critério de parada não satisfeito) faça
3     Dada uma função de vizinhança  $N$ , lista tabu  $T$ , e um critério
       de aspiração encontre a melhor solução admissível  $S' \in N(s)$ ;
        $S \leftarrow S'$ ;
       Insira a solução  $S$  ( ou um atributo, ex: um movimento realizado)
       na lista tabu  $T$ ;
       se  $f(S) < f(S^*)$  então
4          $S^* \leftarrow S;$ 
5       fim
6     Atualize a lista tabu  $T$ ;
7   fim
8 fim
```

Figura 4 - Algoritmo básico de Busca Tabu

Também são bastante utilizados nos métodos de Busca Tabu as estratégias de intensificação e diversificação. As estratégias de intensificação são aquelas que concentram a pesquisa em determinadas regiões consideradas promissoras. É uma estratégia típica de retornar a soluções já visitadas para explorar sua vizinhança de forma mais efetiva. Já as técnicas de diversificação utilizam uma memória de longo prazo para redirecionar a busca para regiões ainda não exploradas o suficiente no espaço de soluções. Esta última estratégia é oposta à de intensificação, pois gera soluções que têm atributos significativamente diferentes daqueles encontrados nas melhores soluções obtidas. (SOUZA, 2000)

2.6 TRABALHOS RELACIONADOS

Os problemas de otimização combinatória, em especial os de programação de horários e alocação de salas, têm sido bastante estudados e discutidos em eventos nacionais e internacionais. Assim, os estudos apresentados procuram a aplicação e a

eficiência de métodos heurísticos para resolução de problemas desse tipo, obedecendo características específicas das universidades.

A caracterização do PHE como NP-Difícil (Even et al., 1976) direciona sua solução para a utilização de métodos heurísticos/meta-heurísticos, pois difere dos métodos exatos que exigiriam tempos computacionais exponenciais, tornando sua aplicação inviável para problemas reais.

Na literatura encontram-se vários trabalhos para resolução desse tipo de problema, sendo um dos trabalhos de destaque o *Survey*, de Carter & Laporte (1996), onde se buscou diferenciar os tipos de problemas de *timetabling* educacionais, separando em *high schools* e *universities* e, posteriormente, os caracterizando nos subproblemas: *Course Timetabling* (horário de curso/disciplinas); *Class-Teacher Timetabling* (horário de professor-turma); *Student Scheduling* (horário dos estudantes); *Teacher Assignment* (alocação de professores) e *Classroom Assignment* (alocação de salas).

Schaerf (1996) aplicou a técnica meta-heurística Busca Tabu para resolver um problema de horários em escolas em que aparecem restrições de vários tipos. Representou uma solução por uma matriz, onde suas linhas representam os professores e as colunas os horários reservados para as aulas. Cada elemento da matriz, referente a um dado professor e a um dado horário, contém o nome da turma para a qual o professor vai lecionar naquele horário. Um movimento consiste em trocar duas aulas de um dado professor ou mover uma aula para um horário diferente.

Souza, Martins e Araújo (2002a) usaram um algoritmo híbrido com *Simulated Annealing* e Busca Tabu para resolver o problema de alocação de salas do ICEB (Instituto de Ciências Exatas e Biológicas) da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto). Tratava-se de um Instituto que recebia, em média, 1.200 alunos por semestre e que oferecia cerca de 250 turmas de disciplinas em aulas nos horários matutino, vespertino e noturno. As aulas eram realizadas de segunda a sábado à tarde, mas a maioria delas estava concentrada de terça a quinta-feira. Para a realização das aulas das turmas estavam disponíveis 20 salas de aulas e 29 laboratórios específicos. Os horários de aula das turmas eram confeccionados previamente pelos departamentos e encaminhados à diretoria do instituto para que esta fizesse a alocação das turmas às salas.

A solução do problema foi constituída de 3 fases: na primeira foi construída uma solução inicial. Na segunda, essa solução construída foi submetida ao algoritmo

Simulated Annealing e o resultante deste, última fase, foi refinado com o algoritmo de Busca Tabu. Os autores trabalharam com dois tipos de requisitos, semelhantes ao trazidos por Abdennadher et al. (2000), sendo requisitos essenciais aqueles que, se não forem satisfeitos ocasionarão uma alocação inviável, e requisitos não essenciais aqueles cujo atendimento é desejável, mas que caso não sejam atendidos não tornarão a solução (alocação) inviável. Dentre as restrições abordadas no problema, estão:

- a) Em uma mesma sala e horário não pode haver mais de uma aula;
- b) Uma sala não pode receber uma turma cuja quantidade de alunos ultrapasse à sua capacidade;
- c) Sempre que possível, alocar a uma mesma sala alunos de um mesmo curso e período;
- d) Se possível, cada uma das salas deve ser deixada vazia em pelo menos um horário ao longo do dia, de forma a favorecer a limpeza.

O procedimento híbrido conseguiu produzir as melhores soluções finais em todos os casos, além de ser mais robusto ao gerar soluções finais com o menor desvio em relação às melhores soluções encontradas para cada instância. Em vista do desempenho satisfatório da técnica proposta, o ICEB adotou o sistema desenvolvido, tendo-o utilizado na confecção do horário do primeiro semestre letivo de 2002.

No trabalho de Cassemiro, Miranda e Wanner (2014), é possível ver a técnica Busca Tabu sendo usada com Algoritmos genéticos. O trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo híbrido baseado em Algoritmo Genético e Busca Tabu para resolver o problema de quadro de horários escolar. O modelo tratado foi construído visando resolver esse problema como um problema de minimização, em que as diversas restrições são representadas na função objetivo, através de penalidades, na tentativa de achar uma solução com menor valor dentro dessa função objetivo. A função objetivo da Equação (1) busca encontrar aquele indivíduo que tem menor penalidade para ser a solução do problema.

$$\text{Minimizar:} \quad \sum \alpha V + \sum \beta W + \sum \gamma X + \sum \delta Y + \sum \lambda Z \quad (1)$$

Sendo que:

- V representa a quantidade das colisões que existem dos professores;

- W representa a quantidade de vezes que as disciplinas ultrapassam a quantidade máxima de aulas que podem haver em um mesmo dia;
- X representa a quantidade de vezes que ocorrem espaços entre as aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia;
- Y representa a quantidade total de dias que os professores necessitam ir até a escola para lecionar;
- Z representa a quantidade de vezes em que professores são alocados em horários nos quais eles não têm disponibilidade para lecionar.

Souza et al. (2002) utilizou um algoritmo híbrido que inclui: GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), Busca Tabu e Algoritmo Genético. A inclusão das meta-heurísticas GRASP e Busca Tabu visam, respectivamente, gerar uma população inicial de forma heurística (não aleatória) e o refinamento da melhor solução encontrada em cada geração do algoritmo genético. Os resultados estão limitados a uma comparação entre um método de geração com o refinamento final pela Busca Tabu e aqueles gerados com o mesmo algoritmo, porém sem o refinamento final.

Subramanian et al. (2011) abordou o problema de alocação de salas do Centro de Tecnologia (CT) de uma Instituição de Ensino Superior utilizando o método Busca Tabu. No CT havia a disponibilidade de 28 salas de três tipos: com carteira, com mesa e com prancheta, distribuídas em seis diferentes blocos, entre 248 turmas. Foram consideradas como restrições essenciais:

- a) Duas ou mais aulas não podem ocorrer simultaneamente na mesma sala;
- b) Aulas de uma determinada turma não podem ser alocadas em mais de uma sala num mesmo período de tempo;
- c) Aulas que necessitam de salas com mesa só podem ser alocadas em salas de seu respectivo tipo;
- d) Aulas que necessitam de salas com prancheta não podem ser alocadas em salas do tipo carteira;
- e) Aulas de uma determinada turma só devem ser alocadas em salas de capacidade maior ou igual à demanda de estudantes da mesma.

Quanto aos requisitos de qualidade (não essenciais) destacam-se: as aulas das disciplinas cuja frequência corresponde a dois dias semanais não devem ser alocadas em blocos distintos; as aulas a serem ministradas, preferencialmente, em salas com carteiras não devem ser alocadas em salas do tipo prancheta; todas as aulas devem ser alocadas; dentre outros. A partir desta implementação houve um ganho em relação ao método realizado manualmente, permitindo um aumento no ganho de eficiência por parte da gestão administrativa do CT.

No capítulo 3 apresenta-se a descrição do problema de quadro de horários e de alocação de salas no contexto do IFFAR - Campus Avançado Uruguaiana.

3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo está organizado em quatro subseções: A seção 3.1 explanará a contextualização do Campus. Os tipos de cursos e suas disciplinas serão apresentados na seção 3.2. A seção 3.3 mostrará o problema quanto a seus requisitos e na seção 3.4 serão apresentados os requisitos essenciais e não essenciais.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO CAMPUS AVANÇADO URUGUAIANA

O Campus Avançado Uruguaiana iniciou suas atividades no segundo semestre de 2013, com cursos Pronatec e Formação Inicial e Contínua (FIC), em uma estrutura provisória cedida pela Prefeitura Municipal de Uruguaiana. No início de 2015 o Campus instalou-se em sua sede definitiva, já ofertando um curso técnico em informática na modalidade subsequente (pós-médio). Para esta modalidade são ofertadas 70 vagas, distribuídas em duas turmas iguais. No ano seguinte, em 2016, foram ofertados mais 2 cursos técnicos: Técnico em Administração e Técnico em Informática para Internet, ambos na modalidade concomitante (paralelo ao ensino médio), no turno tarde. Sendo assim, ofertou-se mais 70 vagas para o curso Técnico em Informática para Internet e 80 vagas para o curso Técnico em Administração, totalizando 220 vagas por ano em cursos técnicos no Campus.

No ano de 2017 o Campus começou suas atividades em 3 turnos: manhã, tarde e noite. Assim, os cursos concomitantes passaram a ser ofertados tanto pela manhã quanto pela tarde e o curso subsequente pelo período da noite.

Atualmente, o corpo docente do Campus, que está em ampliação, é composto por 10 professores que ministram disciplinas nos 3 cursos técnicos. Abaixo, a Figura 5 mostra todos os cursos técnicos ofertados pelo Campus.

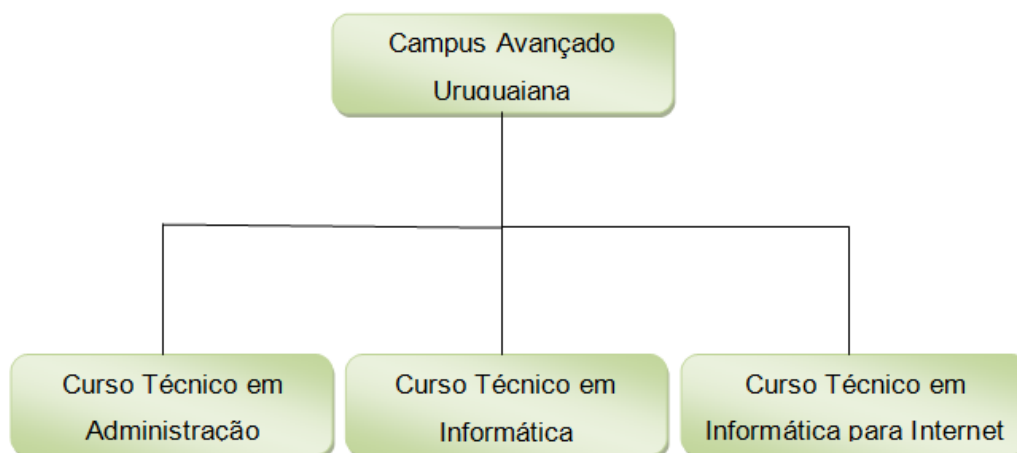


Figura 5 - Cursos Técnicos do IFFAR - Campus Avançado Uruguaiana

O Campus conta com uma estrutura de 2 prédios: a) Prédio Administrativo, onde se encontram a sala dos servidores, a Coordenação Geral de Ensino (CGE), a Coordenação de Registros Acadêmicos (CRA), a Gestão de Pessoas, a Administração e a Direção Geral e, b) o Prédio de Salas de Aula, que conta com uma estrutura de 3 andares que dispõe de laboratórios, biblioteca, assistência estudantil e salas de aula. Todas as salas e laboratórios possuem quadro branco, equipamentos multimídia e ar-condicionado. A capacidade de cada sala/laboratório varia entre 35 e 40 alunos, conforme mostra o Quadro 2:

Andar	Sala/Laboratório	Capacidade
1º	Sala 109	40
	Lab 01	35
	Lab 02	35
	Lab 03	35
2º	Sala 202	40
	Biblioteca	40
	Sala 206	40
3º	Lab 04	40
	Lab 05	35
	Sala 302	40
	Sala 304	35
	Sala 306	35
	Sala 307	35

Quadro 2 - Distribuição das salas/laboratórios e capacidade

3.1.1 Problema de Quadro de horário e Alocação de Salas no Campus

No primeiro ano de funcionamento do Campus, como existia apenas um curso, o quadro de horário dos docentes, assim como a alocação das salas, era de fácil geração e sem a violação de nenhuma restrição. Porém, com a oferta de novos cursos e o crescimento do número de alunos, o número de variáveis do problema também cresceu, tornando o problema mais complexo para ser resolvido.

Assim, a cada aproximação de um novo semestre letivo repete-se a tarefa de distribuir as novas disciplinas para cada professor, de modo a gerar um quadro de horário semanal satisfatório para todos os docentes. Essa tarefa, além de ser árdua e demorada, continua sendo realizada manualmente pela CGE.

Já a alocação de salas não era realizada no Campus em virtude de possuir poucas turmas e os professores conseguem definir as salas entre si. Desta forma, minutos antes de se iniciarem as aulas do dia, cada professor solicitava a sala/laboratório e se a mesma(o) estivesse desocupada(o), este poderia ocupá-la(o) para sua disciplina. Entretanto, devido ao aumento da oferta de disciplinas essa distribuição informal tornou-se uma restrição essencial.

Deste modo, para este estudo, será elaborado o quadro de horário dos professores e a alocação das salas de aula usando como metodologia um método heurístico construtivo guloso e a meta-heurística Busca Tabu para aprimorar a solução inicial encontrada.

3.2 TIPOS DE CURSOS E SUAS DISCIPLINAS

Atualmente, o Campus Avançado Uruguaiana dispõe de dois eixos tecnológicos, quais sejam, Gestão e Negócios, com um Curso Técnico em Administração e um em Informação e Comunicação, o qual conta com 2 cursos: Técnico em Informática e Técnico em Informática para Internet.

O Técnico em Administração e o Técnico em Informática para Internet são cursos concomitantes ao Ensino Médio (EM), que tem duração de três anos e são ofertados em dois turnos: manhã ou tarde (manhã para os alunos que fazem o EM à tarde e à tarde para os alunos que fazem o EM pela manhã). O curso é semestral e acontece de duas a três vezes na semana, em dias específicos estipulados no início

do semestre. Na modalidade concomitante o aluno faz o EM em uma outra escola e no turno inverso faz o ensino técnico no IFFAR- Uruguaiana.

Já o Técnico em Informática é ofertado na modalidade subsequente, pós-médio, com duração de dois anos, no turno da noite, de modo semestral e durante os cinco dias na semana.

Quanto as disciplinas, as mesmas estão organizadas em três núcleos de formação: Núcleo Básico (NB), Núcleo Politécnico (NP) e Núcleo Tecnológico (NT).

O Núcleo Básico é caracterizado por ser um espaço da organização curricular ao qual se destinam as disciplinas que tratam dos conhecimentos e habilidades inerentes à educação básica e que possuem menor ênfase tecnológica e menor área de integração com as demais disciplinas do curso em relação ao perfil do egresso. Nos cursos concomitantes, o núcleo básico é constituído a partir dos conhecimentos e habilidades inerentes à educação básica, para complementação e atualização de estudos, em consonância com o respectivo eixo tecnológico e o perfil profissional do egresso.

O Núcleo Politécnico é caracterizado por ser um espaço da organização curricular ao qual se destinam as disciplinas que tratam dos conhecimentos e habilidades inerentes à educação básica e técnica, que possuem maior área de integração com as demais disciplinas do curso em relação ao perfil do egresso, bem como as formas de integração. Ele é o espaço onde se garantem, concretamente, conteúdos, formas e métodos responsáveis por promover, durante todo o itinerário formativo a politecnicidade, a formação integral e a interdisciplinaridade. Tem o objetivo de ser o elo comum entre o núcleo tecnológico e o núcleo básico, criando espaços contínuos durante o itinerário formativo para garantir meios de realização da politécnica.

O Núcleo Tecnológico é caracterizado por ser um espaço da organização curricular ao qual se destinam as disciplinas que tratam dos conhecimentos e habilidades inerentes à educação técnica e que possuem maior ênfase tecnológica e menor área de integração com as demais disciplinas do curso em relação ao perfil profissional do egresso. Constitui-se, basicamente, a partir das disciplinas específicas da formação técnica, identificadas a partir do perfil do egresso que instrumentalizam: domínios intelectuais das tecnologias pertinentes ao eixo tecnológico do curso; fundamentos instrumentais de cada habilitação; e fundamentos que contemplam as

atribuições funcionais previstas nas legislações específicas referentes à formação profissional.

3.3 O PROBLEMA QUANTO A SEUS REQUISITOS

Conforme já mencionado, o Problema de Quadro de Horários e Alocação de Salas (PQHAS) pode apresentar várias restrições, tais como indisponibilidade do professor, capacidade das salas, indisponibilidade de laboratório, dentre outras.

3.3.1 Professores e Carga Horária De Trabalho

Professores podem estar relacionados a diferentes regimes de trabalho e cada um desses regimes definem a carga horária que o professor deve cumprir. Em virtude disso, o Instituto Federal Farroupilha criou a Regulamentação de Atividade Docente (RAD), a qual tem como objetivo normatizar o fluxo de procedimentos relativos a atividade docente da Instituição. A RAD em vigor estipula que a carga horária mínima do docente em sala de aula é de oito horas/aula semanais e carga horária máxima de 16 horas/aula semanais.

3.3.2 Preferências dos Professores

Assim como em toda IE, professores têm preferências em relação a disciplinas, aos dias que gostariam de ministrar aula, quantidade de aulas em um mesmo dia, preferência por salas de aula ou laboratórios, dentre outras. De fato, essas preferências nem sempre podem ser atendidas, mas quando são atendidas causam uma maior satisfação entre os docentes.

3.3.3 Indisponibilidades

Existem diversos motivos que podem implicar em indisponibilidade, tais como:

- Indisponibilidade do curso – Um curso que é ofertado no turno da manhã não pode disponibilizar disciplinas em turno diferente deste;

- Indisponibilidade do professor – Semanalmente, nas quartas-feiras à tarde, ocorre a reunião pedagógica dos servidores, ou seja, nenhum professor pode ministrar aula neste dia;
- Indisponibilidade de Sala/laboratório – As turmas do curso técnico em administração possuem 40 alunos, o que impossibilita as turmas de serem alocadas em salas de aula com capacidade inferior a 40 lugares.

Esses são alguns dos motivos que causam indisponibilidades. Para evitar que aulas sejam agendadas em períodos de indisponibilidade, essas informações devem ser indicadas. Cada um deles deve estabelecer em quais horários semanais não estarão disponíveis.

3.4 REQUISITOS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS

Para a definição das restrições desse trabalho será utilizado o conceito de Souza et al. (2002a), que as distingue entre requisitos essenciais (*hard*) e não essenciais (*soft*). O primeiro trata-se daqueles que se não forem satisfeitos ocasionarão uma solução inviável e o segundo daqueles cujo atendimento é desejável, mas que caso não o sejam não tornarão a solução inviável.

Atualmente, a decisão para elaboração do quadro de horários adota os seguintes requisitos essenciais e não essenciais:

Requisitos essenciais:

- H1 - Não pode haver mais de uma aula na mesma sala e no mesmo horário;
- H2 - O professor não pode dar aula em 2 períodos ao mesmo tempo;
- H3 - O Curso Técnico em Administração deve ser alocado em salas e laboratórios com capacidade para 40 alunos;
- H4 - No dia da reunião pedagógica não pode haver aulas no turno da tarde;
- H5 - A carga horária semanal da turma deve ser satisfeita;

Requisitos não essenciais:

S1 - A carga horária mínima (8 h/a) e máxima (16 h/a) do professor deve ser satisfeita;

S2 - Disponibilidade dos dias para ministrar as aulas;

S3 - Professor com afastamento parcial para estudos tem preferência para escolha do seu dia de planejamento (atividade fora de sede);

Cabe ressaltar que com esses requisitos (essenciais e não essenciais) o problema já apresenta um certo grau de complexidade, logo, desenvolvê-lo com o suporte computacional pode auxiliar o trabalho da atual responsável com um panorama de uma solução viável, melhor e mais eficiente do que a atualmente adotada. Além disso, com esse suporte há a possibilidade de disseminar o conhecimento do problema de quadro de horários e alocação de salas no IFFAR para que outros responsáveis possam fazer uso do mesmo.

Deste modo, espera-se construir, com o auxílio do suporte computacional, um novo quadro de horários para os professores, assim como a alocação das salas de aula para o Campus. Para tanto, este trabalho seguirá a metodologia para resolução de problemas adotada na pesquisa operacional, conforme será apresentado no Capítulo 4.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os problemas de alocação de horários, em sua maioria, são problemas que pertencem à classe NP-Difícil (COOPER, 1996, EVEN, 1976). Apesar de oferecer um raciocínio lógico sofisticado e rastreável, a abordagem de Programação Linear Inteira (PLI) aumenta, significativamente, o número de variáveis envolvidas, as restrições e o tempo computacional de resolução. A abordagem heurística, por sua vez, assume as faixas reais dos valores de cada variável de decisão e busca melhorar a solução inicial obtida após sucessivas iterações em um tempo computacional aceitável.

Desta forma, a utilização de técnicas heurísticas para resolver problemas desse tipo é justificada, pois os dois problemas envolvidos neste trabalho pertencem a classe de problemas NP-difícil, onde a resolução por métodos exatos de otimização não é indicada devido sua complexidade computacional.

Na definição do problema ocorre a definição do escopo, isto é, onde são identificados a descrição das alternativas de decisão; a determinação do objetivo do estudo e a especificação das limitações sob as quais o sistema de modelagem funciona (TAHA, 2008).

Segundo Sales (2015), na etapa de construção do modelo trata-se da tentativa de tradução e definição do problema em relações matemáticas, ou seja, busca-se construir um modelo matemático que represente a essência do problema. Para Hillier e Lieberman (2013), os modelos matemáticos podem descrever um problema de forma mais concisa, o que tende a tornar mais compreensível a estrutura geral do problema e ajuda a revelar importantes relacionamentos de causa-efeito.

Para a solução do modelo utilizam-se algoritmos de otimização bem definidos, enquanto que na validação do modelo verifica-se se o que foi proposto faz ou não o que diz fazer (TAHA, 2008). Por fim, a etapa de implementação da solução envolve a tradução dos resultados em instruções operacionais inteligíveis, que serão emitidas para as pessoas que deverão administrar o sistema recomendado.

4.1 APLICAÇÃO DO MODELO AO ESTUDO

Este capítulo está subdividido em 5 seções: A seção 4.1.1 mostrará a definição do problema. A representação do problema será mostrada na seção 4.1.2. A seção 4.1.3 abordará como será desenvolvida a solução inicial. A caracterização da

vizinhança será apresentada na seção 4.1.4. A seção 4.1.5 mostrará a formulação e construção do modelo. O desenvolvimento do procedimento computacional será exibido na seção 4.1.6. A seção 4.1.7 abordará a validação do modelo e a implementação do modelo será apresentada na seção 4.1.8.

4.1.1 Definição do Problema

O problema, objeto deste estudo, consiste em propor um novo quadro de horários de professores com a alocação das salas de aula para o Instituto Federal Farroupilha - Campus Avançado Uruguaiana da melhor forma possível, gerando um quadro de horários com uma maior aceitação entre os docentes e contemplando um maior número de restrições não violadas. Quanto a alocação das salas de aula, espera-se obter a melhor distribuição possível, fazendo com que todos os espaços sejam usados de forma eficiente, tentando respeitar, de igual forma, o maior número de restrições possíveis.

Importante salientar que, primeiro será desenvolvida a distribuição das disciplinas aos professores e, logo após, ocorrerá a alocação nos *slots* (grade de horário) junto com a distribuição das salas aulas.

Os métodos e procedimentos utilizados para a resolução deste problema estão subdivididos em duas fases: A primeira fase consiste em fazer a alocação de todas as disciplinas a todos os professores disponíveis, levando em consideração as preferências dos professores para ministrar determinada disciplina. Como resultado desta fase teremos um conjunto professor/disciplina. A segunda fase receberá este conjunto professor/disciplina/turma e irá gerar uma solução inicial de relativa qualidade (solução gulosa), baseada em alguns critérios que serão definidos na seção 4.1.3. Após obter a solução será aplicado um algoritmo meta-heurístico BT, com o objetivo de aprimorar a solução inicialmente estabelecida. O procedimento BT já fora descrito anteriormente; entretanto, a caracterização da vizinhança será tratada em detalhes na seção 4.1.4.

4.1.2 Representação do Problema

Segundo Souza et al. (2002a), uma solução para o problema pode ser representada através de uma matriz, na forma:

$$S = \begin{bmatrix} slot11 & slot21 & slotd \\ slot12 & slot22 & slotd \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ sloth & sloth & sloth \end{bmatrix} = [S_{ij}]_{h \times d}$$

Onde h representa o número de horários no dia e d representa o número de dias na semana. Em cada *slot* na matriz (uma célula S_{ij}) é alocado um professor no horário i , no dia j . Uma célula vazia (S_{ij}) indica que o *slot* do horário h está disponível no dia d .

O Quadro 3 apresenta a disposição dos *Slots* no horário semanal de uma turma no turno da manhã, sendo que o problema é o quadro de horário de professores em 3 turnos diários.

Horário/aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00/09:40	Slot 1	Slot 3	Slot 5	Slot 7	Slot 9
09:50/11:30	Slot 2	Slot 4	Slot 6	Slot 8	Slot 10

Quadro 3 - Disposição dos slots

4.1.3 Geração da Solução Inicial

A geração da solução inicial é uma etapa fundamental para a qualidade das soluções obtidas por meta-heurísticas, pois a partir de boas soluções iniciais o algoritmo tem maior probabilidade de encontrar soluções de boa qualidade.

O procedimento para gerar a solução inicial será através de uma heurística construtiva gulosa, onde o elemento a ser inserido será definido por uma função gulosa, até que o último elemento seja inserido. A função gulosa será norteadada pelos seguintes critérios:

- Professores com afastamento parcial para estudos tem preferência para escolher seu dia de planejamento.
- Preferências dos demais professores;

Como critério de desempate serão observados os seguintes itens:

- P1 - Professor com FG ou CD;

- P2 - Professor com projetos de ensino, pesquisa e extensão;
- P3 - Professor participante de comissões externas a instituição;

A partir desses critérios, uma solução inicial é gerada iterativamente, elemento a elemento, até que a solução esteja completa. Logo após, nesta mesma solução, é aplicado o algoritmo Busca Tabu, onde este irá fazer uma busca agressiva no espaço de soluções, buscando soluções melhores do que a atual. A seguir, no Quadro 4, será apresentada possível solução inicial.

Horário/aula	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00/09:40		F.C - prof. Jhonathan	A.W - prof. Úrsula		F.C - prof. Jhonathan
09:50/11:30		A.W - prof. Úrsula	.II - prof. Diely		

Quadro 4 - Representação de uma solução inicial.

Em cada $Slot_{ij}$ é alocado o professor com sua respectiva disciplina. $Slots_{ij}$ vazios indicam que, naquele horário i e naquele dia j não há nenhuma alocação de professor/disciplina.

4.1.4 Caracterização da Vizinhança

Dada uma Solução inicial, S_0 , para atingir uma Solução S' , onde S' é dito como vizinho de S_0 , são usados dois tipos de movimento: realocação e troca. O movimento de realocação, demonstrado pelo Quadro 5, consiste em realocar os professores em outro horário/dia ($slot$) que esteja vazio. Já o movimento de troca, demonstrado pelo Quadro 6, consiste em trocar dois horários ($slots$) em um mesmo bloco de horário.

S_0				S'			
Horário/aula	Quinta	Sexta	Horário/aula	Quinta	Sexta
08:00/09:40			F.C - prof. Jhonathan	08:00/09:40		F.C - prof. Jhonathan	
09:50/11:30				09:50/11:30			

Quadro 5 - Movimento de realocação

S ₀					S'				
Horário/aula	...	Terça	Quarta	...	Horário/aula	...	Terça	Quarta	...
08:00/09:40		F.C - prof. Jhonathan	A.W - prof. Úrsula		08:00/09:40		Il - prof. Diely	A.W - prof. Úrsula	
09:50/11:30		A.W - prof. Úrsula	.Il - prof. Diely		09:50/11:30		A.W - prof. Úrsula	F.C - prof. Jhonathan	

Quadro 6 - Movimento de troca

4.1.5 Formulação e Construção do Modelo

A formulação do modelo computacional será composta pela função objetivo e todas as restrições impostas. Assim, busca-se minimizar o problema levando em consideração as restrições, as quais estão divididas entre essenciais (*hard*) e não-essenciais (*soft*). As restrições essenciais, quando não satisfeitas, inviabilizam a solução. Já as restrições não-essenciais são restrições de qualidade, ou seja, não inviabilizam a solução, mas penalizam a função objetivo pelo não atendimento da restrição.

4.1.6 Desenvolvimento do Procedimento Computacional

Nesta etapa, será desenvolvido o software de geração de quadro horários, ambos no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), NetBeans 8.2, usando a linguagem Java, MySQL Workbench para modelagem do banco de dados e o Banco de Dados MySQL.

4.1.7 Validação e Avaliação do Modelo

Na validação do modelo, espera-se comparar e avaliar as resoluções propostas por este estudo com as que são geradas manualmente no Campus. Além disso, pretende-se deixar o software com a CGE do Campus para testar e sugerir adequações e melhorias para este trabalho.

4.1.8 Implementação do Modelo

Espera-se que, com a nova solução gerada, os responsáveis pela tarefa possam testar o modelo e logo depois implementá-lo, no primeiro semestre letivo de 2019, melhorando, assim, a satisfação dos professores e o aproveitamento dos espaços do IFFAR - Uruguaiana. Ainda, deseja-se que este trabalho consiga atingir essas cinco etapas de modo a encontrar uma nova configuração para os problemas de quadro de horários e Alocação de salas do Campus.

No capítulo a seguir será apresentado o Problema no IFFAR – Uruguaiana, o qual norteia a proposta apresentada neste trabalho.

5. O PROBLEMA NO IFFAR – URUGUAIANA

Este capítulo está organizado da seguinte maneira: A seção 5.1 mostrará a definição do problema. O subproblema Professor X Disciplina X Turma será apresentado na seção 5.2 e a seção 5.3 explanará o subproblema Professor/Disciplina/Turma X Horário X Salas.

5.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

É importante saber, para o bom entendimento do problema, o conhecimento e a definição dos seguintes termos descritos abaixo:

- *Professor* – responsável por ministrar aulas em um ou mais cursos.
- *Disciplina* – Componente curricular de um curso (único naquele semestre).
- *Turma* – corresponde a um grupo de estudantes de um semestre/curso.
- *Slot* – período correspondente a duas horas aula.
- *Sala* – local onde as aulas serão ministradas (salas de aula ou laboratório).

Partindo do pressuposto que o problema consiste em estipular quais professores ministrarão quais disciplinas em quais turmas, em quais horários e em que salas do IFFAR. A resolução do problema é obtida através de dois subproblemas menores, descritos abaixo:

O primeiro subproblema, *Professor X Disciplina X Turma*, ou simplesmente PAPDT, consiste em alocar disciplinas e turmas a professores, de modo a respeitar as preferências e restrições de cada professor.

O segundo subproblema, *Professor/Disciplina/Turma X Horário X Sala*, ou PAPDTHS, consiste em um conjunto de professores, que estão associados a uma disciplina e uma turma, a necessidade de se escolher os horários para tais disciplinas e salas onde serão ministradas as aulas, de modo a atender as restrições de disponibilidade dos professores e as restrições pedagógicas de interesse, além de tornar possível o cumprimento do fluxo curricular sugerido pelos currículos dos cursos.

Cada um dos subproblemas descritos é tratado como um PPLI, sendo que no primeiro subproblema é de minimização e no segundo é maximização, onde o objetivo

final é a obtenção de soluções factíveis e de boa qualidade. O detalhamento sobre ambos subproblemas está descrito nas seções 5.2 e 5.3 respectivamente.

5.2 SUBPROBLEMA PROFESSOR X DISCIPLINA X TURMA

O Problema de Alocação *Professor X Disciplina* (PAPD), conhecido na literatura como *Teacher Assignment*, é uma especialização do Problema Generalizado de Atribuição (PGA), conhecido na literatura como *Generalized Assignment Problem*. A seguir, será apresentada a estrutura deste subproblema.

5.2.1. Estrutura do Subproblema

Esta seção tem como objetivo definir a estrutura da implantação, servindo como base para o entendimento dos algoritmos descritos nas seções seguintes. Inicialmente, é interessante definir a estrutura da solução do PAPDT, onde, Dado um conjunto de disciplinas D , um conjunto de professores P e um conjunto de turmas T , o problema está em associar uma disciplina i a um professor j e a uma turma k .

Como critério de associação, criou-se uma variável, $Custo_{ij}$, representada com valores entre 10 e 50, indicando a preferência do professor j por ministrar uma disciplina i . Abaixo, no quadro 7, é representado o custo de preferência da associação entre professor e disciplina.

Disciplina Professor	Lógica de programação	Banco de dados II	Hardware II	Programação II
Prof. Leandro	20	30	40	10
Prof. Úrsula	30	10	20	40
Prof. Jhonathan	10	20	30	40
Prof. Thiago	40	40	10	20

Quadro 7 – Custo da relação professor X disciplina

A cada relação professor/disciplina está associado um $Custo_{ij}$, o qual representa a satisfação do professor j pela a disciplina i a ele atribuída, ou seja, quanto menor o valor, maior é o nível de satisfação do professor.

5.2.2 Solução Inicial

A geração da solução inicial é uma etapa fundamental para a qualidade das soluções obtidas por meta-heurísticas, pois a partir de boas soluções iniciais o algoritmo tem maior probabilidade de encontrar soluções de boa qualidade. Algoritmos gulosos têm sido uma boa alternativa para criar uma solução factível inicial.

O algoritmo guloso se baseia em um algoritmo chamado melhor escolha que: dada uma turma k e uma disciplina i , retorna o melhor professor j a ser associado no momento. O algoritmo avaliará qual professor j causará o menor aumento no valor da função objetivo. E então, adicionada à solução.

ALGORITMO 2 - ALGORITMO DE ALOCAÇÃO DISCIPLINAS X PROFESSORES

Entrada: $T = \{\text{Conjunto de turmas}\}$
Entrada: $D = \{\text{Conjunto de disciplinas}\}$
Entrada: $P = \{\text{Conjunto de todos professores}\}$
Saída: S^*

```
1 início
2    $S \leftarrow 0;$  // Solução inicial
    $S^* \leftarrow S_0;$  // Solução final
   para (Todas as turmas  $\in T$ ) faça
3     para (Todas as disciplinas  $\in D$ ) faça
4       para (Todos os professores  $\in P$ ) faça
5         Selecciona (professor com menor custo)
            $S \leftarrow \text{Insere}(d, p);$ 
           Retira  $\{d^*\}$  de  $D;$ 
6       fim
7     fim
8   fim
9   retorna  $S^*$ 
10 fim
```

Figura 6 – Algoritmo de Alocação 1ª fase

A partir desse procedimento, o algoritmo geral se resume a determinar iterativamente a melhor escolha para cada uma das disciplinas garantindo, além disso, que professores que já tenham atingido a carga de trabalho máxima não sejam considerados no processo. A associação disciplina/professor/turma é inserida em uma lista de soluções e a disciplina pertencente a esta associação é removida da lista de disciplinas a ser associada a um professor e uma turma.

No caso de haver dois professores com o mesmo custo para uma disciplina, é avaliado a carga horária de cada um, e aquele que apresentar a menor carga horária recebe a disciplina. E se mesmo assim o empate persistir, o algoritmo escolhe aleatoriamente a qual professor vai atribuir a disciplina.

Neste subproblema não foram implementados métodos heurísticos em função do bom desempenho e satisfatoriedade das soluções encontradas para este subproblema.

5.3 SUBPROBLEMA PROFESSOR/DISCIPLINA/TURMA X HORÁRIO X SALA

Para este subproblema a alocação Professor X Disciplina X Turma já foi definida na seção anterior, ou seja, está fixa. Desta maneira, o problema de alocação Professor/Disciplina/Turma X Horário X Sala, PAPDTHS, refere-se ao problema de agendar os horários (*slots*) e as salas de aula/laboratórios a um conjunto de professores/disciplinas/turmas, levando em consideração as restrições essenciais e não essenciais.

Dentre as restrições do problema estão as indisponibilidades dos professores, os turnos do curso e a requisição de salas especiais.

Indisponibilidades

Há momentos em que alguns professores podem estar indisponíveis para ministrar uma aula. Como exemplo, podemos citar a participação em reuniões pedagógicas agendadas no início do semestre letivo. Um outro exemplo, é o afastamento parcial para estudos, onde o docente pode afastar-se até 16 horas semanais. Neste caso, os 2 exemplos mencionados são tratados como restrições essenciais, ou seja, aquelas que podem inviabilizar a solução.

Turno do Curso

Cada curso técnico da instituição possui um turno no qual as disciplinas devem ser ofertadas. Os cursos técnicos de administração e informática para internet, possuem turmas em dois turnos diferentes (manhã e tarde). Já o curso técnico em informática possui turmas no turno da noite. Essas restrições também são

consideradas essenciais em virtude do Projeto Pedagógico de Curso (PPC) não prever flexibilização de turnos.

Salas Especiais

A sala especial é definida por duas variáveis: a capacidade e o tipo de sala/laboratório. Quanto à capacidade, o curso técnico em administração só pode ser alocado em salas ou laboratórios com capacidade para 40 alunos. Já os cursos técnicos de informática para internet e informática podem ser alocados em salas com capacidade igual ou superior a 35 alunos.

Quanto ao tipo de sala, existem dois: sala de aula ou laboratório de informática. Em todos os cursos técnicos, algumas disciplinas necessitam do uso de laboratório para o desenvolvimento de suas atividades. Por exemplo, a disciplina de programação II é 100% prática em laboratório, o que inviabiliza sua alocação em uma sala de aula comum.

Em ambos os dois casos, as restrições são consideradas essenciais.

5.3.1 Formulação do Problema

Dado um conjunto professor/disciplina/turma SP , um conjunto de horários H , aqui representados por duas horas/aula e um conjunto de salas de aula e laboratórios S , o objetivo é determinar uma associação entre as soluções parciais $ijk \in SP$, horários $l \in H$ e salas $m \in S$ com o máximo valor possível. De modo que, cada solução parcial ijk esteja associada a um único horário l em uma sala m .

Em relação aos cursos ofertados, estes possuem turnos específicos para funcionamento. Disciplinas dos cursos da manhã só podem ser ofertadas no turno da manhã, da mesma forma para tarde e noite. Isso faz com que esta restrição se torne essencial (obrigatória). Assim, foi adotado 3 conjuntos de horários (*slots*): o conjunto manhã, o conjunto tarde e o conjunto noite. No conjunto de *slots* da tarde foi retirado os *slots* referentes a quarta-feira, dia e horário em que se realizam as reuniões pedagógicas da instituição e não há aula para nenhum dos cursos. Na próxima seção é apresentado o algoritmo proposto.

5.3.2 Algoritmo Proposto

Nesta seção serão apresentadas as técnicas e a descrição dos algoritmos desenvolvidos para a solução do problema abordado. A metodologia proposta considera uma aplicação por duas fases. A primeira fase corresponde a um algoritmo guloso o qual é responsável por gerar uma solução inicial (Algoritmo 4) levando em consideração critérios como capacidade dos ambientes (salas e laboratórios), preferência por laboratórios e a preferência dos professores.

Para a fase subsequente, a de melhoria da solução, optou-se pela utilização do método Busca Tabu, pois, pela natureza combinatória, com complexidade NP-Difícil (Even et al., 1976), algumas características importantes desta metodologia, como por exemplo a possível aceitação de soluções intermediárias de piora para se escapar dos ótimos locais, contribuem para a geração de uma solução viável e aplicável ao ambiente estudado em um tempo computacional aceitável. A seguir o Algoritmo 3 representa, de forma geral, a proposta apresentada.

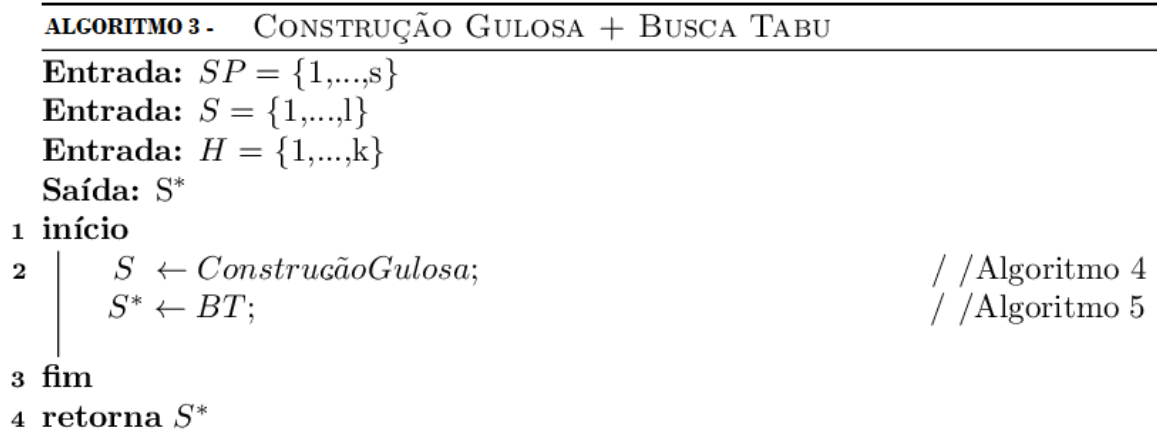


Figura 7 – Apresentação da proposta de forma geral

5.3.2.1 Construção da solução inicial

A solução inicial desta segunda etapa também é gerada por um algoritmo guloso, o qual leva em consideração os turnos dos cursos, a preferência por laboratórios, a capacidade das salas, a preferência dos professores para ministrar determinada disciplina e preferência dos professores pelo dia de planejamento.

Os turnos dos cursos são restrições essenciais e não podem ser violadas. Desta forma, o algoritmo não permite que qualquer disciplina de um curso da manhã

seja alocada em um turno diferente. A figura 8 mostra o cadastro de uma turma do curso de administração, turno manhã, com carga horária semanal de 8 horas e disponibilidade somente para manhã.

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Turmas

Turma

CURSO: TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO **TURNO:** manhã

TURMA: Adm2M **CARGA HORÁRIA SEMANAL:** 8 **SEMESTRE:** 2

DISPONIBILIDADE:

	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
<input checked="" type="checkbox"/> Manhã	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40
	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30
<input type="checkbox"/> Tarde	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40
	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30
<input type="checkbox"/> Noite	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40
	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30

Figura 8 - Cadastro de turma

Quanto a preferência por laboratórios, em algumas disciplinas é indispensável o uso do mesmo para o bom rendimento na disciplina. Por exemplo: A disciplina programação II, do curso técnico em Informática, é 100% prática em laboratório, o que inviabiliza sua alocação em uma sala de aula. A figura 9 exemplifica o cadastro de uma disciplina com a necessidade de laboratório de informática.

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Disciplinas

Dados da Disciplina

Curso: Área:

Disciplina: Abreviatura:

Carga Horária Semanal: Semestre: Laboratório

Disciplinas cadastradas:

Cod Curso	Nome	Abreviatura	Cargahor...	Semestre	Area
3	HARDWARE II	HWII	4	2	INFORMÁTICA
3	ETICA E RELAÇÕES HUMAN...	ET RH	2	2	ADMINISTRAÇÃO
3	EMPREENDEDORISMO	EMP	2	4	ADMINISTRAÇÃO
3	REDES DE COMPUTADORES	RC	6	4	INFORMÁTICA
3	TÓPICOS AVANÇADOS EM I...	TAI	6	4	INFORMÁTICA
3	PORTUGUÊS INSTRUMENT...	PORT	2	4	LINGUÍSTICA
2	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	LP	6	2	INFORMÁTICA
2	METODOLOGIA CIENTÍFICA	MF	2	2	LINGUÍSTICA
2	FUNDAMENTOS DA ADMINI...	FADM	2	2	ADMINISTRAÇÃO
2	PORTUGUÊS INSTRUMENT...	PORT I	2	4	LINGUÍSTICA
2	BANCO DE DADOS	BD	4	4	INFORMÁTICA

Figura 9 - Cadastro de disciplina que necessita laboratório

O curso técnico em administração também possui uma restrição essencial quanto a capacidade das salas e laboratórios. Para este curso, as turmas devem ser alocadas em salas de aula e laboratórios com capacidade para 40 alunos. A alocação de uma turma com 40 alunos em um ambiente com capacidade para 35 é totalmente inviável, pois 5 alunos não teriam onde realizar as suas atividades. Este procedimento é realizado automaticamente na alocação das salas de aula.

A preferência pelas disciplinas é dada na seção 5.2.1 pelo custo associado para ministrar uma determinada disciplina. A figura 10 ilustra as preferências de disciplinas do professor Jhonathan para ministrar no segundo semestre. Ao selecionar o semestre letivo, o sistema busca todas as disciplinas daquele semestre e mostra em todas as opções de 1 a 5.

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Professor

IDENTIFICAÇÃO **PREFERÊNCIA DE DISCIPLINAS** DISPONIBILIDADE

PREFERÊNCIA DE DISCIPLINAS DO PROFESSOR: Jhonathan

Selecione o Semestre Letivo: 1° S letivo 2° S letivo

1° Opção:

2° Opção:

3° Opção:

4° Opção:

5° Opção:

Figura 10 - Preferências de disciplinas por professor

Cada uma das opções contém um custo que está representado no quadro 8 a seguir:

Opção	Custo
Opção 1	10
Opção 2	20
Opção 3	30
Opção 4	40
Opção 5	50

Quadro 8 - Peso relacionado a cada opção

Para a preferência pelo dia de planejamento foi estabelecido pesos conforme a atividade que o professor desenvolve na instituição. Abaixo as atividades com seus respectivos pesos:

- Professores com afastamento parcial – peso 10;
- Professores com CD ou FG – peso 7;
- Professores com projetos de ensino pesquisa e extensão – peso 5;

- Professores em comissões externas a instituição – peso 3.
- Preferência dos demais professores – peso 2;

Abaixo, na figura 11 é possível cadastrar os professores que tem preferência em função de suas atividades na instituição.

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Professor

IDENTIFICAÇÃO | PREFERÊNCIA DE DISCIPLINAS | DISPONIBILIDADE

Identificação do Professor: —

Nome: Último sobrenome:

Área: Carga horária mínima: Carga horária máxima:

Professor com Afatamento para estudos

Funções Administrativas: —

Cargo de Direção Função Gratificada Projetos (Ensino, pesquisa e Extensão)

Comissões Externas

Figura 11 - Identificação e Funções administrativas do professor

A preferência pelo dia de planejamento é dada pela figura 12, onde o professor marca os dias que está disponível para ministrar as aulas e deixa em branco os dias que está indisponível. No entanto, esta restrição é tratada como não essencial, ou seja, não causa infactibilidade na solução, porém provoca o aumento de satisfação entre os professores.

Cadastro de Professor

IDENTIFICAÇÃO
PREFERÊNCIA DE DISCIPLINAS
DISPONIBILIDADE

DISPONIBILIDADE DE: Jhonathan

	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
<input checked="" type="checkbox"/> Manhã	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40
	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input checked="" type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30
<input checked="" type="checkbox"/> Tarde	<input checked="" type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input checked="" type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input checked="" type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40
	<input checked="" type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input checked="" type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input checked="" type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30
<input checked="" type="checkbox"/> Noite	<input checked="" type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input checked="" type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input checked="" type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input checked="" type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40
	<input checked="" type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input checked="" type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input checked="" type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input checked="" type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30

VOLTAR
 SALVAR

Figura 12 - Cadastro de disponibilidade do professor

Após a inserção de todos os dados: cursos, disciplinas, turmas, salas de aula e laboratório. Inicia-se a alocação com o primeiro item da solução parcial (disciplina, professor e turma), a uma sala e um horário, conforme descrito abaixo.

Primeiro passo: Verifica-se a carga horária da disciplina, e se for maior que 2 horas aula (4 ou 6), esta é dividida em disciplinas de 2 horas aula, ou seja, equivale a 1 horário (*slot*). Vejamos: a disciplina de lógica de programação, com 6 horas aula, está alocada a prof^a. Úrsula na turma info2 manhã. Logo, cria-se 3 disciplinas lógica de programação com o mesmo professor e turma.

Segundo Passo: Verifica-se o curso a qual pertence a turma, e se a turma pertencer ao curso de administração será possível alocação em salas ou laboratórios com capacidade igual ou superior a 40 alunos. Caso contrário, todas demais salas poderão ser usadas para a alocação.

Terceiro passo: Verifica-se a necessidade de laboratório para disciplina, caso positivo aloca-se em um dos laboratórios disponíveis. Caso contrário, aloca-se em uma sala de aula disponível naquele período.

Quarto passo: Verifica-se as preferências dos professores, conforme as figuras 11 e 12. Escolhe-se o professor com maior preferência.

Quinto passo: Insere-se na solução: a solução parcial (a disciplina, o professor, a turma), a sala e o horário(slot). Retira-se a disciplina inserida na solução do conjunto de soluções parciais.

Esse procedimento se repete até que a lista de soluções parciais esteja vazia. O pseudocódigo da construção da solução inicial para o problema é apresentado pelo algoritmo 4 abaixo:

ALGORITMO 4 - CONSTRUÇÃO GULOSA

Entrada: $SP = \{1, \dots, s\}$
Entrada: $S = \{1, \dots, l\}$
Entrada: $H = \{1, \dots, k\}$
Saída: SF^*

```

1 início
2    $S \leftarrow 0;$                                      // Solução inicial
    $SF^* \leftarrow S_0;$                                  // Solução final
3   para (Todas as soluções parciais  $\in SP$ ) faça
4     para (Todas as salas  $\in S$ ) faça
5       se (capacidade da sala  $\geq$  tamanho da turma) então
6         se (tipo da sala  $==$  tipo sala solicitado pela disciplina) então
7           para (Todos os horários  $\in H$ ) faça
8             Selecciona (professor com maior preferência)
               $S \leftarrow \text{Inser}(s, l, k);$ 
              Retira  $\{s^*\}$  de  $SP;$ 
9             fim
10          fim
11         fim
12      fim
13   fim
14   retorna  $SF^*$ 
15 fim

```

Figura 13 - Construção Gulosa

Após gerar uma solução inicial, o próximo passo é aplicar uma busca exaustiva com a meta-heurística Busca Tabu para o aprimoramento da solução. A descrição dessa busca será na seção 5.3.2.2.

5.3.2.2 Aprimoramento da Solução (Método Busca Tabu)

Após a geração de uma solução inicial, tem-se como etapa subsequente o processo de aprimoramento da solução obtida. Esta etapa tem como objetivo obter, a partir da solução inicial, uma boa solução, a qual é feito através de um método heurístico.

O processo de aprimoramento foi implementado com o método Busca Tabu, pois este permite a fuga de ótimos locais. Desta forma, as informações obtidas ao decorrer de busca são utilizadas na determinação de uma nova solução, que será utilizada para o início de uma nova iteração assim que um ótimo local for encontrado.

O aprimoramento da solução gerada na seção 5.3.2.1 é realizado pelo Algoritmo 5 na figura abaixo.

ALGORITMO 5 - APRIMORAMENTO DA SOLUÇÃO - BUSCA TABU

Entrada: $S = \{1, \dots, s\}$
Saída: S^*

```

1 início
2    $S_0 \leftarrow$  Solução inicial gerada pelo algoritmo 4;
    $S^* \leftarrow S_0;$  / /Melhor solução obtida até então
   Iteracao  $\leftarrow$  0;
   MelhorIteracao  $\leftarrow$  0;
   ListaTabu  $\leftarrow$  [ ];
   Limite  $\leftarrow$  1000;

3   enquanto (Iteracao - MelhorIteracao  $\leq$  Limite) faça
4     Iteracao  $\leftarrow$  Iteracao + 1;
      $s' \leftarrow m$ , o melhor elemento de  $V \in N(s)$  tal que o movimento  $m$ 
     não esteja na ListaTabu ( $m \notin$  ListaTabu)

5     ListaTabu  $\leftarrow$  ListaTabu - (movimento mais antigo) +
     (movimento que gerou  $s'$ );
      $S \leftarrow s'$ ;
6     se ( $f(s) < f(S^*)$ ) então
7        $S^* \leftarrow S;$ 
       MelhorIteracao  $\leftarrow$  Iteracao;

8     fim
9   fim
10 fim
11 retorna  $S^*$ 

```

Figura 14 - Algoritmo BT

O procedimento Busca Tabu permite a cada iteração procurar um ótimo local, selecionando o melhor vizinho s' de um subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução

corrente s . Independentemente de $f(s^*)$ ser melhor ou pior que $f(s)$, s' sempre será a solução corrente. No entanto, somente esse mecanismo não é suficiente para escapar de ótimos locais, uma vez que pode haver como solução final uma solução já gerada anteriormente. Para evitar isso cria-se uma lista chamada tabu, que tem como objetivo proibir alguns movimentos já visitados.

6. IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o processo de implementação da solução proposta no capítulo anterior a partir da coleta de dados e análise das soluções.

6.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados refere-se à inserção, no sistema, de todos os professores, cursos, disciplinas, turmas e salas de aula/ laboratórios disponíveis no ano letivo de 2017. Abaixo, no quadro 9, são apresentados os cursos:

Cursos	Turno
Técnico em administração	Manhã e tarde
Técnico em informática para internet	Manhã e tarde
Técnico em informática	Noite

Quadro 9 - Cursos ofertados

As disciplinas dos 3 cursos possuem carga horária entre duas e seis horas semanais. A relação das disciplinas com a carga horária (CH), turno e semestre pode ser obtida nos quadros 10, 11 e 12, a seguir:

Curso	Disciplina	CH	Semestre
Técnico em Administração	Produção, escrita e comunicação	2	1º
	Informática	2	1º
	Fundamentos da administração	4	1º
	Matemática financeira	4	2º
	Rotinas administrativas	4	2º
	Fundamentos de marketing e vendas	4	3º

	Noções de economia	2	3º
	Gestão ambiental e responsabilidade social	2	3º
	Produção e logística	4	4º
	Contabilidade	4	4º

Quadro 10 - Disciplinas do curso técnico em administração

Curso	Disciplina	CH	Semestre
Técnico em Informática para Internet	Fundamentos da computação	4	1º
	Aplicativos Web	4	1º
	Inglês Instrumental	2	1º
	Lógica de programação	6	2º
	Metodologia Científica	2	2º
	Fundamentos da Administração	2	2º
	Programação web orientada a objetos	6	3º
	Interação humano-computador	2	3º
	Web design	2	2º
	Português instrumental	2	4º
	Banco de dados	4	4º
	Análise e Modelagem de sistemas	4	4º

Quadro 11 – Disciplinas do curso técnico de informática para internet

Curso	Disciplina	CH	Semestre
Técnico em informática	Programação I	4	1º
	Lógica Matemática	2	1º
	Fundamentos da informática e aplicativos	4	1º
	Hardware I	4	1º
	Banco de dados I	4	1º
	Inglês instrumental I	2	1º
	Programação II	6	2º
	Banco de dados II	6	2º
	Inglês instrumental	2	2º
	Hardware II	4	2º
	Ética e relações humanas no trabalho	2	2º

Quadro 12 - Disciplinas do curso técnico em informática

A relação de salas e laboratórios disponíveis é apresentada a seguir, no quadro

Salas	Laboratórios
109	Lab 01
202	Lab 02
206	Lab 03
302	Lab 04
304	Lab 05
306	
307	

Quadro 13 - Salas e laboratórios disponíveis

O Corpo docente do IFFAR-Uruguaiana é mostrado no quadro 14, no entanto, cabe lembrar que o corpo docente do eixo do curso de administração ainda está incompleto.

Professor	Área
Profª Úrsula	Informática
Profª Diely	Linguística
Prof Leandro	Informática
Prof Jhonathan	Informática
Prof Thiago	Informática
Prof Gustavo	Informática
Prof Toni	Informática
Profª Elijeane	Administração
Profª Carla	Administração
Profª Andrerika	Ciências Naturais

Quadro 14 - Relação de professores

A relação de turmas é apresentada no quadro 15, a seguir:

Turma	Semestre	Semestre Letivo	Turma	Semestre	Semestre Letivo
ADM 11 M	1º	1º	ADM 21 M	2º	2º
ADM 12 T	1º		ADM 22 T	2º	
INFO 11 M	1º		INFO 21 M	2º	
INFO 12 T	1º		INFO 22 T	2º	
ADM 31 T	3º		ADM 41 T	4º	
INFO 31 T	3º		INFO 41 T	4º	
INFO 11 N	1º		INFO 21 N	2º	
INFO 12 N	1º				
INFO 31 N	3º				

Quadro 15 - Relação de turmas no ano de 2017

Após a inserção desses dados foi realizada a alocação de Professor/Disciplina/Turma e, na sequência, a alocação Professor/Disciplina/Turma X Salas X Horários (*Slots*). Este procedimento pode ser melhor entendido na seção a seguir.

6.2 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES

Todas as implementações foram realizadas na linguagem Java. Na primeira fase, no subproblema Professor X Disciplina X Turma é possível verificar quais foram as disciplinas e turmas com as quais os professores ficaram. Após, segue-se para a alocação das disciplinas na tabela de horários, que pode ser visualizada por professores, por turmas e de forma geral. A seguir, na figura 15, é apresentada a distribuição das disciplinas aos professores.

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Assistente de horário

INSERIR: ...

Disciplina	Professor	Turma
MATEMÁTICA FINANCEIRA	CARLA	ADM2T
ROTINAS ADMINISTRATIVAS	ELIJEANE	ADM2T
MATEMÁTICA FINANCEIRA	CARLA	ADM2M
ROTINAS ADMINISTRATIVAS	ELIJEANE	ADM2M
PRODUÇÃO E LOGÍSTICA	ELIJEANE	ADM4T
CONTABILIDADE	CARLA	ADM4T
LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	URSULA	INFO2M
METODOLOGIA CIENTÍFICA	ANDRERIKA	INFO2M
FUNDAMENTOS DA ADMINISTRAÇÃO	ELIJEANE	INFO2M
LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	JHONATHAN	INFO2T
METODOLOGIA CIENTÍFICA	ANDRERIKA	INFO2T
FUNDAMENTOS DA ADMINISTRAÇÃO	ELIJEANE	INFO2T
PORTUGUÊS INSTRUMENTAL	DIELY	INFO4T
BANCO DE DADOS	GUSTAVO	INFO4T
ANÁLISE E MODELAGEM DE SOFTWARE	THIAGO	INFO4T
PROGRAMAÇÃO II	LEANDRO	INFO2N
BANCO DE DADOS II	GUSTAVO	INFO2N
INGLÊS INSTRUMENTAL II	DIELY	INFO2N
HARDWARE II	TONI	INFO2N
ÉTICA E RELAÇÕES HUMANAS NO TRABALHO	DIELY	INFO2N

o custo mínimo é de : 370

← VOLTAR
↻ ALOCAR PROF/DISCIPLINA
→ PRÓXIMO

Figura 15 - Alocação professor X disciplina X turma

Nesta primeira fase do problema, a função objetivo é de minimizar o custo, tendo este como resultado mínimo o valor de 370, ou seja, a melhor distribuição

encontrada. Ainda, na figura 15, o botão próximo realiza a distribuição das salas e horários para essa solução parcial.

A seguir será apresentada a solução por completo e também um comparativo entre a solução proposta e a gerada manualmente. Importante ressaltar que a solução proposta por este trabalho está trazendo a alocação de salas levando em consideração a capacidade da sala/ laboratório e a necessidade de uso do laboratório.

A figura 16 mostra a solução proposta, enquanto que a figura 17 exhibe a solução manual para a turma Adm2 do turno da manhã.

Professores						
Turmas						
Geral						
ADM2M	ADM2T	ADM4T	INFO2M	INFO2T	INFO4T	INFO2N
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
08:00-09:40		MF - CARLA - 109	RA - ELIJEANE - 109	MF - CARLA - 109		
09:50-11:30		RA - ELIJEANE - 109	MF - CARLA - 109			
14:00-15:40						
15:50-17:30						
19:00-20:40						
20:50-22:30						

Figura 16 - Horário turma Adm2 manhã - proposta.

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
08:00		ROTINAS ADMINISTRATIVAS	ROTINAS ADMINISTRATIVAS		
09:50		MATEMATICA FINANCEIRA	MATEMATICA FINANCEIRA	MATEMATICA FINANCEIRA	

Figura 17 - Horário turma Adm2 manhã – manual

A solução proposta apresenta uma alternância entre as disciplinas, pois na terça-feira a disciplina Rotinas Administrativas inicia-se às 09:50 e na quarta-feira inicia-se às 08:00. O mesmo acontece com a disciplina de matemática financeira nos turnos opostos. Já em relação a quinta-feira, a solução proposta traz a disciplina de matemática financeira nos primeiros períodos, enquanto que a manual traz a disciplina nos últimos períodos do turno da manhã. Em relação aos dias aula, em ambas as soluções foram encontrados os mesmos dias de trabalho.

A seguir, nas figuras 18 e 19 são apresentados os horários da turma de Adm2 do turno da tarde.

Professores							Turmas							Geral																											
ADM2M		ADM2T		ADM4T		INFO2M		INFO2T		INFO4T		INFO2N																													
							segunda							terça							quarta							quinta							sexta						
08:00-09:40																																									
09:50-11:30																																									
							MF - CARLA - 109							RA - ELIJEANE - 109							MF - CARLA - 109																				
							RA - ELIJEANE - 109							MF - CARLA - 109																											
19:00-20:40																																									
20:50-22:30																																									

Figura 18 - Horário turma Adm2 tarde - proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
14:00	MATEMÁTICA FINANCEIRA	ROTINAS ADMINISTRATIVAS		ROTINAS ADMINISTRATIVAS	
15:50		MATEMÁTICA FINANCEIRA		MATEMÁTICA FINANCEIRA	

Figura 19 - Horário da turma Adm2 tarde- manual

A solução proposta apresenta a mesma alternância entre as disciplinas, conforme já comparado na turma Adm2 do turno da manhã. Já em relação a quinta-feira, a solução proposta traz somente a disciplina de matemática financeira, enquanto que a solução manual traz rotinas administrativas e matemática financeira. Em relação aos dias aula, em ambas as soluções foram encontrados os mesmos dias de trabalho.

A seguir, nas figuras 20 e 21 são apresentados os horários da turma de Adm4 do turno da tarde.

Professores							Turmas							Geral																											
ADM2M		ADM2T		ADM4T		INFO2M		INFO2T		INFO4T		INFO2N																													
							segunda							terça							quarta							quinta							sexta						
08:00-09:40																																									
09:50-11:30																																									
							PRLOG - ELIJEANE - 109							CONT - CARLA - 109																											
							CONT - CARLA - 109							PRLOG - ELIJEANE - 109																											
19:00-20:40																																									
20:50-22:30																																									

Figura 20 - Horário turma Adm4 tarde - proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
14:00		CONTABILIDADE		CONTABILIDADE	
15:50		PRODUÇÃO E LOGÍSTICA		PRODUÇÃO E LOGÍSTICA	

Figura 21 - Horário turma Adm4 tarde – manual

Nesta turma Adm4 do turno da tarde, a solução proposta traz como dias letivos segunda e terça-feira e a solução manual traz terça e quinta-feira.

Abaixo, nas figuras 22 e 23 é apresentado o horário da turma Info2 do turno da manhã.

Professores Turmas Geral						
ADM2M	ADM2T	ADM4T	INFO2M	INFO2T	INFO4T	INFO2N
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
08:00-09:40	LP - URSULA - LAB1	FADM - ELIJEANE - 109	LP - URSULA - LAB1			
09:50-11:30	MF - ANDRERIKA - 109	LP - URSULA - LAB1				
14:00-15:40						
15:50-17:30						
19:00-20:40						
20:50-22:30						

Figura 22 - Horário turma Info2 manhã - proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
08:00		LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO		LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	
09:50		METODOLOGIA	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	FUNDAMENTOS DA ADMINISTRAÇÃO	

Figura 23 - Horário da turma Info2 manhã – manual

Na turma acima, a solução proposta traz a segunda-feira com dia letivo, enquanto que a solução manual traz a quinta-feira. Outra diferença entre as soluções é na quarta-feira, pois na solução proposta a disciplina lógica de programação é nos primeiros períodos de aula e a manual é nos últimos. A seguir, nas figuras 24 e 25 são apresentados os horários da turma de Info2 do turno da tarde.

Professores Turmas Geral						
ADM2M	ADM2T	ADM4T	INFO2M	INFO2T	INFO4T	INFO2N
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
08:00-09:40						
09:50-11:30						
14:00-15:40	LP - JHONATHAN - LAB1	FADM - ELIJEANE - 109		LP - JHONATHAN - LAB1		
15:50-17:30	MF - ANDRERIKA - 109	LP - JHONATHAN - LAB1				
19:00-20:40						
20:50-22:30						

Figura 24 - Horário turma Info2 tarde – proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
14:00	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO		LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	
15:50	FUNDAMENTOS DA ADMINISTRAÇÃO			METODOLOGIA	

Figura 25 - Horário turma Info2 tarde – manual

Nesta turma, os dias letivos são os mesmos, no entanto houve uma troca de horário (*slots*) entre as disciplinas fundamentos da administração e metodologia científica.

Nas figuras 26 e 27 são apresentadas as soluções para a turma Info4 do turno da tarde.

Professores						
Turmas						
Geral						
ADM2M	ADM2T	ADM4T	INFO2M	INFO2T	INFO4T	INFO2N
			segunda	terça	quarta	quinta
08:00-09:40						
09:50-11:30						
14:00-15:40			PORT I - DIELY - 109	BD - GUSTAVO - 109		AMS - THIAGO - LAB1
15:50-17:30			BD - GUSTAVO - 109	AMS - THIAGO - LAB1		
19:00-20:40						
20:50-22:30						

Figura 26 - Horário Info4 tarde – proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
14:00	PORTUGUÊS INSTRUMENTAL	BANCO DE DADOS		ANÁLISE E MODELAGEM	
15:50	ANÁLISE E MODELAGEM			BANCO DE DADOS	

Figura 27 - Horário Info4 tarde – manual

Na turma acima, os dias letivos são os mesmos, contudo também houve uma troca de horário (*slots*) entre as disciplinas Análise e modelagem e banco de dados.

Nas figuras 28 e 29 são apresentadas as soluções para a turma Info2 turno da noite.

Professores						
Turmas						
Geral						
ADM2M	ADM2T	ADM4T	INFO2M	INFO2T	INFO4T	INFO2N
			segunda	terça	quarta	quinta
08:00-09:40						
09:50-11:30						
14:00-15:40						
15:50-17:30						
19:00-20:40			PGII - LEANDRO - LAB1	BDII - GUSTAVO - LAB1	PGII - LEANDRO - LAB1	ING II - DIELY - 109
20:50-22:30			BDII - GUSTAVO - LAB1	PGII - LEANDRO - LAB1	BDII - GUSTAVO - LAB1	HWII - TONI - 109

Figura 28 - Horário turma Info2 noite - proposta

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
19:00	HARDWARE II	BANCO DE DADOS II	BANCO DE DADOS II	INGLÊS INSTRUMENTAL	HARDWARE II
20:50	PROGRAMAÇÃO II	PROGRAMAÇÃO II	PROGRAMAÇÃO II	ÉTICA E RH. NO TRABALHO	BANCO DE DADOS II

Figura 29 - Horário turma Info2 turma noite – manual

Nesta turma, ambas as soluções são muito parecidas, pois ocorreu apenas uma pequena troca entre as disciplinas hardware II, ética de relações humanas no trabalho e banco de dados II.

No capítulo 7 serão apresentadas as tecnologias usadas e as telas do sistema desenvolvido.

7. SOFTWARE

Escolher a tecnologia ideal para o desenvolvimento de um sistema é algo muito determinante para o sucesso do produto.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi usada a linguagem Java EE (*Java Enterprise Edition*), usando a IDE Netbeans 8.2 e o banco de dados MySql 5.7.

Os testes computacionais foram executados em um notebook Dell Core i7, 2.7 GHz, com 8 GB de memória RAM.

7.1 JAVA

Java é uma linguagem relativamente simples, de fácil aprendizado ou migração, pois possui um número reduzido de construções. A diminuição das construções mais suscetíveis a erros de programação, tais como ponteiros e gerenciamento de memória via código de programação também faz com que a programação Java seja mais fácil de manipular. Possui um conjunto de bibliotecas que fornecem grande parte das funcionalidades básicas da linguagem, como a criação de interface gráfica. Conhecida como uma linguagem orientada a objetos, encapsulamento de dados e métodos de manipulação, a linguagem permite a modularização das aplicações, facilitando o reuso e manutenção posteriormente.

Além do mais, a tecnologia Java e suas IDE's são *free*, o que não acarreta custo de desenvolvimento. Outro fator pelo qual a linguagem se destaca é a multiplataforma. Um mesmo código Java pode ser executado em diversas plataformas sem a necessidade de alteração de código.

7.2 MYSQL

Um banco de dados é uma coleção de dados estruturados. Para adicionar, acessar e processar dados armazenados em um banco de dados de um computador é necessário um sistema gerenciador de banco de dados como o Servidor MySQL.

O Servidor MySQL foi desenvolvido originalmente para lidar com bancos de dados muito grandes, de maneira muito mais rápida que as soluções existentes e tem sido usado em ambientes de produção de alta demanda por diversos anos e de maneira bem sucedida.

Também é um software livre e possui suporte para a maioria das plataformas existentes no mercado.

7.3 INTERFACES DO SOFTWARE



Figura 30 - Tela inicial

Assistente de horário

A formulação deste horário será em duas etapas: professor/ disciplina e depois a alocação nos slots.

Nome da Escola:

Semestre Letivo: Selecione...

Próximo

Fechar

Figura 31 - Assistente de horário

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

×

Assistente de horário - Símbolos

Este símbolo indica a variável disciplina;
As disciplinas devem ser inseridas uma a uma no sistema;
Não é preciso atribuir professor a disciplina;

Este símbolo indica a variável professor;
Os professores devem ser inseridos um a um no sistema;
Cada professor deve ter suas preferências definidas;

Este símbolo indica a variável turma;
As turmas devem ser inseridas uma a uma no sistema;

Este símbolo indica a variável sala;
As salas devem ser inseridas uma a uma no sistema;
Os laboratórios são um tipo especial de sala;

Voltar

Próximo

Figura 32 - Tela de Informações

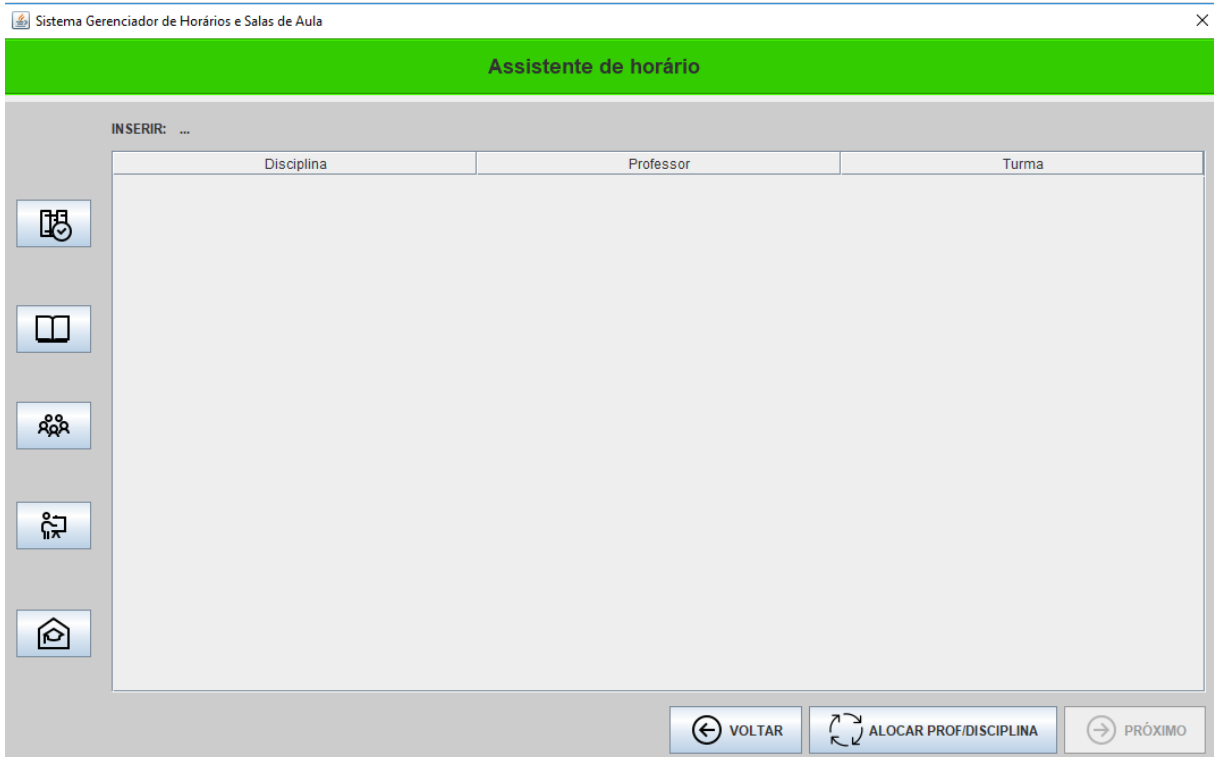


Figura 33 - Menu principal

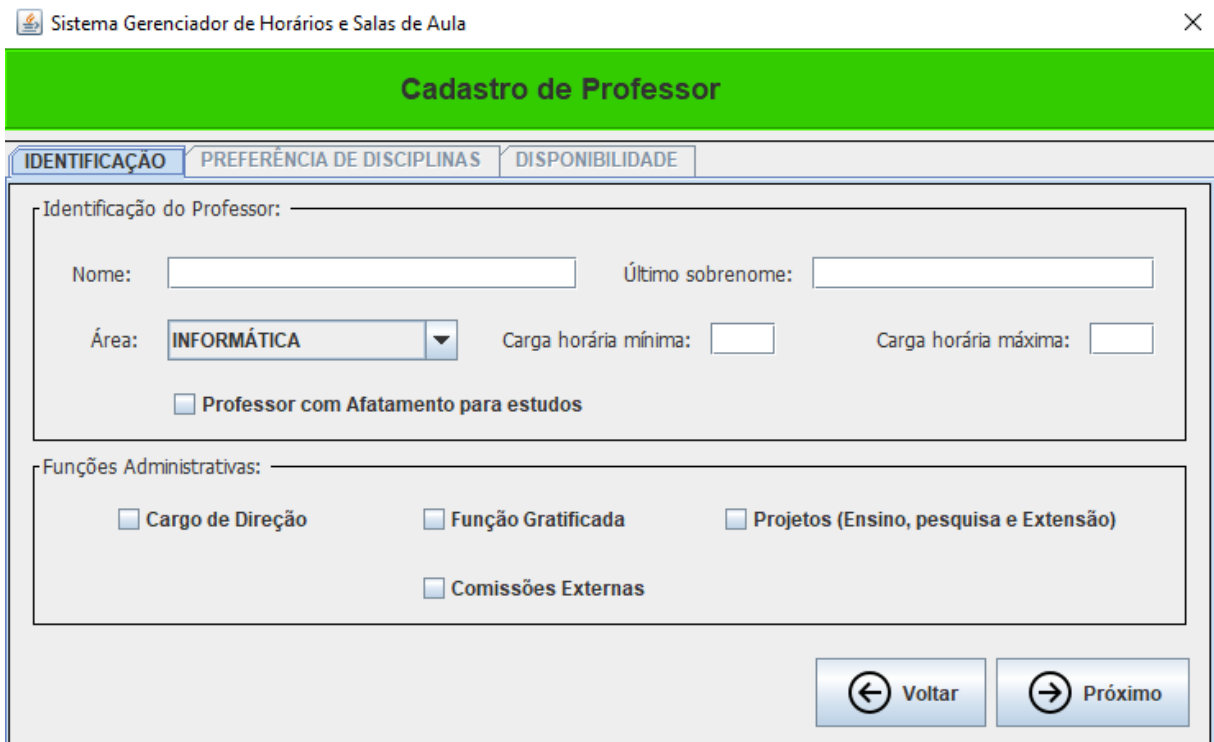


Figura 34 - Cadastro de professor

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Curso

Dados do Curso

Nome:

Carga Horária: Modalidade: SELECIONE A MODALIDADE ▼

Cursos já cadastrados:

Codigo	Nome	Carga horária	Modalidade
1	TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO	960	TÉCNICO CONCOMITAN...
2	TÉCNICO EM INFORMÁTICA PARA IN...	1200	TÉCNICO CONCOMITAN...
3	TÉCNICO EM INFORMÁTICA	1440	TÉCNICO SUBSEQUEN...




+ Novo  Excluir  Alterar  Salvar ⊗ Fechar

Figura 35 - Cadastro de curso

Cadastro de Disciplinas

Dados da Disciplina

Curso: TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO Área: INFORMÁTICA

Disciplina: Abreviatura:

Carga Horária Semanal: Semestre: 0 Laboratório

Disciplinas cadastradas:

Cod Curso	Nome	Abreviatura	Cargahor...	Semestre	Area
1	MATEMÁTICA FINANCEIRA	MF	6	2	ADMINISTRAÇÃO
1	ROTINAS ADMIMNISTRATIVAS	RA	4	2	ADMINISTRAÇÃO
1	PRODUÇÃO E LOGÍSTICA	PRLOG	4	4	ADMINISTRAÇÃO
1	CONTABILIDADE	CONT	4	4	ADMINISTRAÇÃO
3	PROGRAMAÇÃO II	PGII	6	2	INFORMÁTICA
3	BANCO DE DADOS II	BDII	6	2	INFORMÁTICA
3	INGLÊS INSTRUMENTAL II	ING II	2	2	LINGUÍSTICA
3	HARDWARE II	HWII	4	2	INFORMÁTICA
3	ETICA E RELAÇÕES HUMAN...	ET RH	2	2	ADMINISTRAÇÃO
3	EMPREENDEDORISMO	EMP	2	4	ADMINISTRAÇÃO
3	REDES DE COMPUTADORES	RC	6	4	INFORMÁTICA

+ Novo
🗑 Excluir
📄 Alterar
💾 Salvar
✕ Fechar

Figura 36 - Cadastro de disciplina

Cadastro de Turmas

Turma

CURSO: TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO TURNO: manhã

TURMA: CARGA HORÁRIA SEMANAL: SEMESTRE: 1

DISPONIBILIDADE:

	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
<input type="checkbox"/> Manhã	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40	<input type="checkbox"/> 08:00 às 09:40
	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30	<input type="checkbox"/> 09:50 às 11:30
<input type="checkbox"/> Tarde	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40	<input type="checkbox"/> 14:00 às 15:40
	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30	<input type="checkbox"/> 15:50 às 17:30
<input type="checkbox"/> Noite	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40	<input type="checkbox"/> 19:00 às 20:40
	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30	<input type="checkbox"/> 20:50 às 22:30

+ Novo
✕ Excluir
📄 Alterar
💾 SALVAR
✕ Fechar

Figura 37 - Cadastro de turma

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Sala

Dados da Sala

Sala: Abreviatura:

Tipo: Capacidade:

Salas Cadastradas:

Código	Nome	Abreviatura	Capacidade	Tipo
13	SALA 109	109	40	Sala de aula
14	SALA 202	202	40	Sala de aula
15	SALA 206	206	40	Sala de aula
16	SALA 302	302	40	Sala de aula
17	SALA 304	304	35	Sala de aula
18	SALA 306	306	35	Sala de aula
19	LABORATÓRIO 1	LAB1	35	Laboratório
20	LABORATÓRIO 2	LAB 2	35	Laboratório
21	LABORATÓRIO 3	LAB 3	35	Laboratório
22	LABORATÓRIO 4	LAB 4	40	Laboratório

Figura 38 - Cadastro de sala

Sistema Gerenciador de Horários e Salas de Aula

Cadastro de Eixo

DADOS DO EIXO

Eixo:

Área:

Eixos Cadastrados

Cod Eixo	Eixo	Area
1	INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	INFORMÁTICA
2	INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	ADMINISTRAÇÃO
3	INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	LINGÜÍSTICA

Figura 39 - Cadastro de eixo

GRADE DE HORÁRIO SEMANAL

Professores					
Turmas					
Geral					
Carla Diely Elijeane Jhonathan Leandro Andrerika Toni Thiago Gustavo Úrsula					
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
08:00-09:40		MATEMÁTICA FINANCEIRA -...		MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	
09:50-11:30			MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	
14:00-15:40	MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	CONTABILIDADE - ADM4T - ...		MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	
15:50-17:30	CONTABILIDADE - ADM4T - ...	MATEMÁTICA FINANCEIRA -...		CONTABILIDADE - ADM4T - ...	
19:00-20:40					
20:50-22:30					

✕ Fechar

Figura 40 - Grade de horário por professor

GRADE DE HORÁRIO SEMANAL

Professores					
Turmas					
Geral					
ADM2M ADM2T ADM4T INFO2M INFO2T INFO4T INFO2N					
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
08:00-09:40		MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	ROTINAS ADMINISTRATIV...	MATEMÁTICA FINANCEIRA -...	
09:50-11:30		ROTINAS ADMINISTRATIV...	MATEMÁTICA FINANCEIRA -...		
14:00-15:40					
15:50-17:30					
19:00-20:40					
20:50-22:30					

✕ Fechar

Figura 41 - Grade de horário por turma

A seguir, no capítulo 8 será apresentada a conclusão e a indicação de trabalhos futuros.

8. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção será apresentada a conclusão e a indicação de trabalhos futuros.

8.1 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi propor um novo quadro de horários com a alocação das salas de aula no Instituto Federal Farroupilha – Campus Avançado Uruguaiana, a fim de tornar mais satisfatória a alocação de horários e também fazer um melhor uso dos espaços físicos da instituição.

De modo geral, as novas soluções apresentaram muitas semelhanças com a manualmente realizada. No entanto, pode-se perceber que a solução proposta por este trabalho trouxe alternância entre as disciplinas na disposição dos horários (*slots*).

Observou-se, também, que a solução proposta alocou mais disciplinas na segunda-feira, ao comparar com a solução manual. Cabe lembrar que todos os professores envolvidos naquele dia não manifestaram indisponibilidade ou insatisfação para ministrar aulas. Desta forma, não foi aplicada nenhuma penalidade na função objetivo, ocasionando, assim, a solução vigente.

Quanto a preferência dos professores pelos laboratórios, a mesma foi satisfatoriamente atendida em todas as disciplinas. Em relação à diferença de capacidade das salas, a solução foi eficaz na distribuição dos espaços, já que todas as turmas de administração foram alocadas em salas com capacidade para 40 alunos e as demais turmas alocadas nos demais ambientes.

Dentre os objetivos propostos nesse trabalho, o modelo apresentou um sistema computacional destinado a resolver o Problema de Alocação de Horários e Salas de aula do Instituto Federal Farroupilha – Campus Uruguaiana, aplicou e analisou, na própria instituição, comparando com grades de horário manualmente feitas.

Conclui-se, portanto, que o modelo apresentou boas soluções, razão pela qual o sistema está sendo apresentado para o responsável por gerar as grades de horário para que possa analisar e fazer uso para os próximos quadros de horário.

8.2 TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

- Implementação de uma nova heurística para construção de soluções iniciais;
- Implementação de outras meta-heurísticas para aprimoramento da solução, comparando com esta;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDENNADHER, S.; Saft, M.; e Will, S. (2000). **Classroom Assignment using constraint logic programming**. The Second International Conference and Exhibition on The Practical Application of Constraint Technologies and Logic Programming, PACLP.

ABRAMSON, D. (1991). **Constructing School Timetables Using Simulated Annealing**. Management Science, 37, 98-113.

ALVAREZ-VALDÉS, R.; Crespo, E. e Tamarit, J. M. (2002) **Desing and implementation of a course scheduling system using tabu search**. European Journal of Operational Research 137, 512-523.

ALVAREZ-VALDÉS, R.; Crespo, E. e Tamarit, J. M. (2001) **Tabu Search: An efficient metaheuristic for university organization problems**. Revista Investigacion Operacional, v.22, n. 2, p. 104-113.

ANDRADE, E. L. de (2011). **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. (4ª ed.) Rio de Janeiro: LTC.

AYCAN, E. & AYAV, T. (2009). **Solving the Course Scheduling Problem Using Simulated Annealing**. In: IEEE International Advance Computing Conference, 462-466.

BARDADYM, V. A. (1996). **"Computer-Aided School and University Timetabling: The New Wave"**, Lecture Notes in Computer Science, 1153: 22-45.

BLUM, C.; e Roli, A. (2003). **Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison**. ACM Computing Surveys, v. 35, p. 268–308.

BRANDÃO, L. (2002). **Sequenciamento de Processadores Paralelos utilizando a Meta-Heurística Busca Tabu**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

BURKE, E.k.; Petrovic, S.; e Qu, R. (2006). **Case-based heuristic selection for timetabling problems**. Journal of Scheduling, 9, 115-132.

BURKE, E.; Werra, D.; e Kingston, J. (2003). **Applications to Timetabling Handbook of Graph Theory**. p. 445-474. CRC Press.

CARVALHO, R. (2011). **Abordagem Heurística para o Problema de Programação de Horários de Cursos**. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, MG, Brasil.

CARTER, M.W.; e Laporte. G.(1996). **Recent Developments in Practical Course Timetabling**. Practice and theory of automated timetabling, In E. K. Burke & P. Ross (Eds.). Lecture notes in computer Science (Vol. 1408. Practice and theory of

automated timetabling II: selected papers from the 2nd international conference, pp. 3–19). Berlin: Springer.

CARTER, M.W.; e Tovey, C.A. (1992). **When Is the Classroom Assignment Problem Hard?** *Operations Research*, 40(1), 28-39.

CASSEMIRO, V. M.; Miranda, S. D.; e Wanner, F. E. (2014). **Desenvolvimento de um Modelo híbrido Baseado em Algoritmo Genético e Busca Tabu para resolução do Problema de Quadro de Horários Escolar**. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Salvador, Bahia.

COELHO, A. M.; e Souza, S. R. (2005). **Um estudo sobre o problema de horário escolar via *simulated annealing***. In: Anais do EMC 2005. VIII Encontro de Modelagem Computacional, EMC 2005, novembro/2008. Nova Friburgo, RJ.

COLIN, E.C. (2007). **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC.

COOPER, T.; Kingston, J. (1996). **The complexity of timetable construction problems**. In: Practice and Theory of Automated Timetabling, volume 1153 de Lecture Notes in Computer Science, p. 281–295. Springer-Verlag.

COOPER, T.; e Kingston, J. (1993). **The Solution of Real Instances of the Timetabling Problems**. *The Computer Journal*, 36, 645-653.

CORDENONSI, A. Z. (2008). **Ambientes, Objetos e Dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

COSTA, D. A. (1994). **Tabu search algorithm for computing an operational timetable**. *European Journal of Operational Research*, v. 76, p. 98-110.

CUNHA, C. R. (2010). **Metaheurística híbrida GRASP e Busca Tabu aplicada ao problema de escalonamento de tarefas**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil.

DORIGO, M. (1992). **Optimization, Learning and Natural Algorithms**. Phd thesis. Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, IT, 1992.

EVANS, J.; e Minieka, E. **Optimization Algorithms for Networks and Graphs**. CRC Press, USA. 1992.

ELMOHAMED, M. A. S.; Coddington, P.; e Fox, G. (1997). **A comparison of annealing techniques for academic course scheduling**. Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 1996), 92-114.

EVEN, S.; Itai, A.; e Shamir, A. (1976). **On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems**. *SIAM Journal of Computation*, 5, 691-703.

FEO, T.; e RESENDE, M. A. Greed Randomized Adaptive Search Procedure for Maximum Independent Set. **Operations Research**, v. 42, p. 860-879, 1994.

FILHO, W.M. (2008). **Desenvolvimento e aplicação de algoritmos heurísticos ao problema de alocação de espaço físico**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil.

GAREY, M.R.; e Johnson, D.S. (1999). **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NPComplete**. New York: W.H. Freeman and Company, 338p

GLOVER, F. (1986). **Future paths for integer programming and links with artificial intelligence**. Computers and Operational Research, 5, 533-549.

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

GOLDBARG, M.C.; e Luna, H.P.L. (2005). **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos (2ª ed.)**. Rio de Janeiro: Elsevier.

GOLDBERG, D, E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. Boston: Addison Wesley, 1989.

GOTLIEB, C. (1962). **The construction of class-teacher timetabling**. Proceeding of the IFIP Congress, 73-77.

HANSEN, P. (1986). **The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming**. In: Congress on Numerical Methods in combinatorial Optimization. Capry, Italy: [s.n]

HERNÁNDEZ-DIAZ, A.G.; Guerrero, F.M.C.; Caballero, R.F.; e Molina, J. L. (2006). **Algoritmo Tabú para um problema de distribuição de espaços**. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 1(junio), 25-37.

HERTZ, A. (1991). **Tabu search for large scale timetabling problems**. European Journal of Operational Research Society, v. 54, p. 39-47.

HIGGINS, A. J. (2001). **A dynamic tabu search for large-scale generalized assignment problems**. Computers and Operations Research, v. 28, p. 1039-1048.

HILLIER, F.S.; e Lieberman, G.J. (2013). **Introdução à pesquisa operacional (9ª ed.)**. Porto Alegre: AMGH.

HOLANDA, A. B. (1986). **Novo Dicionário de Língua Portuguesa**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

JACOB JUNIOR, A. F. L.; ROCHA, C. A. J. da. **“AGHORA: Algoritmos Genéticos para Geração de Horários de Aula”**, In: XIX SEPAI - Semana Paraense de Informática e Telecomunicações e II CTIC - Congresso de Tecnologia da Informação

e Telecomunicações Regional Para', 2005, Belém, Pará. Anais do XIX SEPAI / II CTIC, 2005. v. 1. p. 11-21.

KIRKPATRICK, S.; GELLATI, C.D.; e VECCHI, M. **Optimization by Simulated Annealing**. Science, v. 220, p. 671-680, 1983.

LOURENCO, H. R, Martin, O.; e Stutzle, T. (2003). **Iterated Local Search, Hand book of Metaheuristics**.

MARTINS, J. P. (2010). **O Problema do Agendamento Semanal de Aulas**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás, Brasil.

MIDDENDORF, M.; Freischle, F.; e Schmeck, H. (2002). **Multi Colony Ant Algorithms**. Journal of Heuristics, 8, 305-320.

MLADENOVIC, N.; e HANSEN, P. **Variable Neighborhood Search: Methods and Recent Applications**. In: Third Metaheuristics International Conference, Angra dos Reis, Brasil, p. 275-280, 1999.

MLADENOVIC, N.; e HANSEN, P. **Variable Neighborhood Search**. Computers and Operations Research, v. 24, p. 1097-1100, 1997.

MOSCATO, P. **On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Martial Arts: Towards Memetic Algorithms**. In: Caltech Concurrent Computation Program, C3P Report 826, 1989.

MÜLLER, F. M. (1993). **Algoritmos heurísticos e exatos para a resolução do problema de sequenciamento em processadores paralelos**. Tese doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

NONOBE, K. e IBARAKI, T. (1998). **A tabu search approach to the constraint satisfaction problem as a general problem solver**. European Journal of Operational Research, 106, 599-623.

PAIM, A. D.; e Greis, I. C. (2008). **Abordagens para elaboração automatizada de tabela de horários acadêmicos**. Seminário Intermunicipal de Pesquisa, p.6-26.

PAPADIMITRIOU, C.H.; e Steiglitz, K. (1982). **Combinatorial optimization: Algorithms and complexity**. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc.

POULSEN, C.J.B. (2012). **Desenvolvimento de um modelo para o school timetabling problem baseado na meta-heurística simulated annealing**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

PRADO, A. S. (2014). **Problema de Alocação de Salas em Cursos Universitários: Um estudo de Caso**. Dissertação de mestrado. Centro Federal de educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil.

QU, R.; Burke, E.K.; McCollum, B.; Merlot, L.T.G.; e Lee, S.Y. (2009). **A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling**. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55-89.

RIBEIRO, C.C. (1996). **"Metaheuristics and Applications"**. In *Advanced School on Artificial Intelligence*, Estoril, Portugal.

ROSS P.; Fang H.; e Corne D. (1999). **Genetic Algorithms for Timetabling e scheduling**. Departamento de IA Universidade de Edinburgh, 80 South Brige, Edinburgh EH 11HN, Scotland.

SALES, E. S. (2015). **Problema de Alocação de Salas e a Otimização dos Espaços no Centro de Tecnologia da UFSM**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Administração, Santa Maria, RS, Brasil.

SANTOS, H. G. (2007). **Formulações e Algoritmos para o Problema de programação de Horários em Escolas**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Rio de Janeiro.

SANTOS, H. G. e Souza M. J. F. (2007). **Programação de horários em instituições educacionais: formulações e algoritmos**. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2007, Fortaleza. *Anais do XXXIX SBPO*. Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2007. v. 1. p. 2827-2882.

SANTOS, H.G.; Ochi, L. S.; e Souza, M. J. F. (2004). **An Efficient Tabu Search Heuristic for the School Timetabling Problem**. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 3059, p. 468-481.

SCHAEFER, A. (1999). **A survey of automated timetabling**. *Artificial Intelligence Review*. 13, 87-127.

SILVA, D.J. da.; e Silva, G.C. da. (2010). **Heurísticas Baseadas no Algoritmo de Coloração de Grafos para o problema de alocação de salas em uma instituição de ensino superior**. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

SILVA, A.S.N. (2005). **Estudo e Implementação, Mediante Recozimento Simulado, do Problema de Alocação de Salas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

SILVER, E. A. (2004). **An overview of heuristic solution methods**. *Journal of Operational Research Society* 55 (9), p.936-956.

SOUZA, M.J.F.; Martins, A. X.; e Araújo, C.R. (2002a). **Experiências com a utilização de Simulated Annealing e Busca Tabu na resolução do Problema de Alocação de Salas**. XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.

SOUZA, M.J.F; Martins, A. X.; Araújo, C.R.; e Costa, F.W.A. (2002b). **Métodos de Pesquisa em Vizinhança Variável aplicados ao Problema de Alocação de Salas**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, Paraná, Brasil.

SOUZA, M.J.F. (2000). **Programação de Horário em Escolas**: uma aproximação por metaheurística. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SPINDLER, M. (2010). **Uma Proposta de Solução para Problemas de Horário Educacional Utilizando Busca Dispersa e Reconexão por Caminhos**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul

SUBRAMANIAN, A; Medeiros, J.M; Formiga, L, A. e Souza, M.J.F. (2011). **Aplicação da metaheurística busca tabu ao problema de alocação de aulas a salas em uma instituição universitária**. Revista Produção Online, 11(1), 54-75.

TAHA, H. A. (2008). **Pesquisa Operacional**: uma visão geral (8ª ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.

WANG, Y.-Z., (2002). **An application of genetic algorithm methods for teacher assignment problem**. Expert Systems with Applications,22, 295-302.

WERRA, D. (1989). "**Tabu Search Techniques**: A Tutorial and an Application to Neural Networks". OR Spelctrum, v. 11, pp. 131-141.

WHITE, G. M.; Xie, B. S. e Zonjic, S. **Using tabu search with longer-term memory and relaxation to create examination timetables**. European Journal of Operational Research, v.153, p. 90-91, 2004.