UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

ANDRÉ SOARES CARVALHO

META-HEURÍSTICAS PARA RESOLUÇÃO DE UM CASO REAL DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS

ALEGRE
2015

ANDRÉ SOARES CARVALHO

META-HEURÍSTICAS PARA RESOLUÇÃO DE UM CASO REAL DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Regis Mauri.

ALEGRE

2015

ANDRÉ SOARES CARVALHO

META-HEURÍSTICAS PARA RESOLUÇÃO DE UM CASO REAL DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em 09 de novembro de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Geraldo Regis Mauri
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. M.Sc. Helder de Amorim Mendes
Universidade Federal do Espírito Santo

M.Sc. Caio Monteiro Barbosa da Silva
Empresa Brasileira de Aeronáutica

DEDICATÓRIA

Dedico a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim,
fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre iluminou minha jornada.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e incentivo.

Agradeço a minha namorada Mariana Spala, que sempre me apoiou, incentivou, e esteve presente em todos os momentos junto a mim.

Agradeço ao meu orientador Geraldo por se disponibilizar em me ajudar nesse projeto.

Agradeço aos professores do Departamento de Computação e outros departamentos do CCA-UFES que estiveram presentes durante toda a minha graduação, transmitindo um pouco de seu conhecimento.

Agradeço aos meus professores Alessandra Fonseca e Charles Altoé presentes no início da minha graduação na UVV Guaçuí, em especial ao Charles por todos os conselhos e motivações.

Agradeço a todos os envolvidos nesse projeto, funcionários da secretária acadêmica que prontamente me atenderam nas diversas solicitações de relatórios sobre as ofertas das disciplinas, relação de docentes, entre outros relatórios necessários, sanando todas as minhas dúvidas, aos coordenadores dos cursos, que disponibilizaram informações essenciais para que esse projeto fosse realizado com sucesso.

Agradeço a minha banca examinadora que cederam um pouco de seu tempo para participarem dessa etapa que é tão importante para mim.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam durante toda a jornada, principalmente a Paula e o Leandro.

Agradeço aos meus colegas de trabalho por toda a paciência que tiveram comigo nesse tempo juntos.

RESUMO

Confeccionar quadro de horários que atendam os critérios pedagógicos das instituições de ensino tem sido um problema normalmente solucionado de forma artesanal. Esse processo requer muitos dias de trabalho e o envolvimento de diversas pessoas, em virtude dos vários requisitos pedagógicos e institucionais a serem considerados. Neste trabalho, o objetivo foi abordar o Problema de Programação de Horários de Disciplinas em Universidades (PPHDU) existente no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Para solucionar esse problema, foram utilizadas as meta-heurísticas *Simulated Annealing* e *Clustering Search* (CS).

Palavras-chave: Problema de Programação de Horários de Disciplinas em Universidades; *Simulated Annealing*; *Clustering Search*.

METAHEURISTICS TO SOLVE A REAL UNIVERSITY COURSE TIMETABLING PROBLEM

ABSTRACT

Solving a timetabling problem ensuring pedagogical criterions from educational institutions has been a problem usually treated manually. This process requires many days of work and the effort of a lot of people, because several pedagogical and institutional requirements must to be considered. This work aims to solve the University Course Timetabling Problem (UCTP) at the School of Agricultural Sciences in Federal University of Espírito Santo (CCA-UFES). The metaheuristics Simulated Annealing and Clustering Search (CS) were used to solve the UCTP.

Keywords: University Course Timetabling Problem; Simulated Annealing; Clustering Search.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeiro Exemplo de alocação de disciplinas. 17
Figura 2 - Segundo exemplo de alocação de disciplinas. 17
Figura 3 - Entidade Professor.....21
Figura 4 - Entidade Disciplina.....21
Figura 5 - Entidade Tipo de Sala.....22
Figura 6 - Entidade Sala.....22
Figura 7 - Entidade Horário. 22
Figura 8 - Entidade turma.....23
Figura 9 - Entidade oferta.....23
Figura 10 – Exemplo de matriz para a sala 0. 24
Figura 11 – Exemplo de matriz para a sala 1. 24
Figura 12 - Exemplo de matriz para a turma 0. 25
Figura 13 - Exemplo de matriz para a turma 1. 25
Figura 14 - Exemplo de matriz para o professor 0. 26
Figura 15 - Exemplo de matriz para o professor 1. 26
Figura 16 - Algoritmo SA. 40
Figura 17 - Fluxograma da CS 42
Figura 18 - Pseudocódigo da CS. 42
Figura 19 - Exemplo de cálculo da distância de Hamming.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disciplinas desconsideradas para o curso de Engenharia Florestal. 29
Tabela 2 - Disciplinas desconsideradas para o curso de Engenharia Industrial Madeireira. 30
Tabela 3 - Disciplinas Geologia com aula de campo aos sábados. 32
Tabela 4 - Disciplinas desconsideradas por ocorrerem no HOVET. 33
Tabela 5 - Disciplinas desconsideradas fora do período correto.....34
Tabela 6 - Disciplinas desconsideradas - Zootecnia. 36
Tabela 7 - Penalizações utilizadas na função objetivo. 47
Tabela 8 - Parâmetros utilizados na SA e na CS. 47
Tabela 9 - Resultados obtidos pela resolução em uma etapa.....48
Tabela 10 - Resultados obtidos pela resolução em duas etapas – 5 horas. 49
Tabela 11 - Resultados obtidos pela resolução em duas etapas – 10 horas. 50
Tabela 12 - Comparativo entre as melhores soluções obtidas.....50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALNS – *Adaptive Large Neighborhood Search*

CCA-UFES – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo

CS – *Clustering Search*

ECS – *Evolutionary Clustering Search*

FO – Função Objetivo

GRASP – *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

HOVET – Hospital Veterinário

ILS – *Iterated Local Search*

PHE – Programação de Horários Escolares

PPHDU – Problema de Programação de Horários de Disciplinas em Universidades

SA – *Simulated Annealing*

SAT – Problema de Satisfazibilidade Proposital

TPA – Tecnologia de Produtos Agrícolas

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

VND – *Variable Neighborhood Descent*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

1.1. O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA 12

1.2. OBJETIVOS 17

1.2.1. Objetivo geral 17

1.2.2. Objetivos específicos 18

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 18

2. REVISÃO DA LITERATURA 19

3. METODOLOGIA 21

3.1. MODELAGEM DO PROBLEMA 21

3.2. REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO 23

3.3. COLETA DE DADOS 26

3.3.1 Agronomia 27

3.3.2 Biologia Bacharelado 27

3.3.3 Biologia Licenciatura 28

3.3.4 Ciência da Computação 28

3.3.5 Engenharia de Alimentos 28

3.3.6 Engenharia Florestal 29

3.3.7 Engenharia Industrial Madeireira 30

3.3.8 Engenharia Química 31

3.3.9 Farmácia 31

3.3.10 Física Licenciatura 32

3.3.11 Geologia 32

3.3.12 Matemática Licenciatura 33

3.3.13 Medicina Veterinária 33

3.3.14 Nutrição 35

3.3.15 Química Licenciatura 35

3.3.16 Sistemas de Informação 35

3.3.17 Zootecnia 36

3.3.18 Outras informações 36

3.4. FUNÇÃO OBJETIVO 37

3.5. *SIMULATED ANNEALING* 39

3.5.1. Solução inicial 40

3.5.2. Movimento 1 40

3.5.3. Movimento 2 41

3.6. *CLUSTERING SEARCH* 41

3.6.1. Principais componentes da CS 43

3.6.1.1. Geradora de soluções 43

3.6.1.2. Processo de agrupamento 43

3.6.1.3. Busca local 44

3.7. RESOLUÇÃO DO PPHDU EM ETAPAS 45

4. RESULTADOS OBTIDOS 47

5. CONCLUSÕES 52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53

1. INTRODUÇÃO

Problemas de otimização combinatória podem ser organizados, segundo Taha (2008), no seguinte formato:

Maximizar ou minimizar função objetivo

Sujeito a

restrições

A solução do modelo é considerada viável se satisfazer todo o conjunto de restrições e, considerada ótima, caso além de viável, atingir o melhor valor da função objetivo.

Carvalho (2011) define função objetivo como uma função que determina a qualidade de uma solução em relação às variáveis que se deseja otimizar.

Segundo Chaves (2009), uma maneira de solucionar tal problema seria verificar todas as soluções possíveis, o que fica inviável para problemas reais, cujo número de soluções cresce exponencialmente em função do tamanho do problema. Para isso, técnicas heurísticas podem ser utilizadas para solucionar tais problemas. Heurísticas consistem em métodos que utilizam o conceito de tentativa e erro para encontrar soluções de boa qualidade em um tempo aceitável.

É possível encontrar soluções para problemas de otimização combinatória em diversas áreas e que estão presentes na vida real, como programação de horários, rotação de culturas, roteamento de veículos, corte de placas, escalonamento de funcionários.

1.1. O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

Segundo Abramson (1991), o problema relacionado à programação de horários em uma instituição de ensino consiste na alocação de turmas, professores e salas, de tal forma que nenhum recurso esteja alocado mais de uma vez em um mesmo período de tempo. Por sua vez, Souza (2000) define que o referido problema consiste em fixar uma sequência de encontros entre professores e estudantes em um período prefixado de tempo, satisfazendo um conjunto de requisitos de várias naturezas.

Segundo Santos e Souza (2007), a natureza dos requisitos de um problema de programação de horários pode ser dividida em três categorias, sendo essas organizacionais, pedagógicos e pessoais.

As organizacionais tratam questões como gestão de recursos e cumprimento da legislação atual, por exemplo, a aula de Programação I deverá ser realizada em um laboratório de informática. Os requisitos pedagógicos uma vez cumpridos podem melhorar o desempenho nas aulas, isto é, maior duração de aula para que seja possível realizar determinadas atividades em uma disciplina. Por fim, as categorias pessoais estão de acordo com as necessidades pessoais do corpo docente, por exemplo, um determinado professor prefere que suas aulas ocorram no período vespertino ou noturno.

O processo de confeccionar quadro de horários que atendam os critérios pedagógicos das instituições de ensino tem sido um problema normalmente solucionado de forma artesanal, o que requer muito tempo, visto que em alguns casos esse processo pode durar dias ou semanas. Além disso, o envolvimento de diversas pessoas se faz necessário para solucionar o problema. Em geral, esse processo pode resultar em soluções satisfatórias, insatisfatórias ou até mesmo inviáveis, caso não atendam aos requisitos definidos pela instituição. Por exemplo, um professor pode ficar descontente caso tenha muitos intervalos ociosos entre uma aula e outra, o que caracterizaria um resultado insatisfatório; um professor possuir duas aulas em um mesmo intervalo de tempo, o que seria inviável na prática.

Schaerf (1999) afirma que o maior problema na programação de horários é a difícil generalização, uma vez que cada instituição de ensino possui diferentes restrições pedagógicas, principalmente entre universidades. Na literatura, pode-se encontrar inúmeras variantes do problema, pois os conceitos pedagógicos se diferem entre as instituições de ensino – escola ou universidade – e o tipos de requisitos também. Sendo assim, Schaerf (1999) classifica o problema de programação dos horários em três categorias.

A primeira corresponde ao problema de programação dos horários em escolas – *school time tabling problem* – ou seja, refere-se à criação de horários nas escolas de ensino fundamental e médio, nas quais as turmas apresentam um mesmo currículo

básico comum, o qual determina a quantidade de disciplinas que cada série terá, e também a respectiva carga horária semanal. Basicamente, na instituição de ensino desse grau, cada turma possui uma sala alocada, um aluno está inserido em uma única turma, um professor está associado a uma turma e uma disciplina, e por fim, uma turma está associada a vários professores. Dessa forma, o objetivo principal é garantir que em um intervalo de tempo, um professor esteja alocado em apenas uma turma, que seja cumprida a carga horária semanal de todas as turmas e uma turma possua aula somente com um único professor em um intervalo de tempo.

A segunda categoria envolve o problema de programação dos horários de cursos – *course time tabling problem* – retratando a realidade das universidades, uma vez que o aluno pode estar matriculado em algum curso, por exemplo, Sistemas de Informação ou Licenciatura em Ciências Biológicas; e esse possui grades de ofertas, que compreende as disciplinas ofertadas para o respectivo curso no período correspondente, como Programação I, Vetores e Geometria Analítica. Assim, o aluno poderá se matricular em ofertas do seu curso, como também de outros cursos, considerando os critérios da universidade. Nesse caso, o objetivo principal é assegurar que não exista conflito de horários entre as ofertas para os alunos, que um professor não esteja alocado em um mesmo intervalo de tempo para mais de uma oferta, que não exista duas ofertas alocadas em mesma sala de aula e também que a sala de aula alocada seja compatível com a quantidade de alunos.

Por fim, a terceira categoria corresponde ao problema de programação dos horários de exames – *examination time tabling problem* – no qual menciona a alocação dos horários de avaliações das disciplinas em uma instituição de ensino. A proposta é desenvolver um horário de avaliações das disciplinas de tal forma que respeite um limite máximo diário, dentre outros critérios pedagógicos que vigora na instituição, como por exemplo, evitar que existam avaliações de disciplinas consideradas complexas no mesmo dia ou em dias seguidos.

Santos e Souza (2007) destacam que a modelagem de um problema referente à programação dos horários envolve diversas restrições, que podem ser classificadas em dois tipos: fortes ou fracas. Caso as restrições fortes não sejam satisfeitas, essas inviabilizam uma solução. Por exemplo, duas disciplinas distintas estão alocadas para uma mesma sala de aula no mesmo dia e horário. Por outro lado, as restrições

fracas não inviabilizam uma solução, mas é desejável que sejam satisfeitas, ou seja, um professor deseja que suas aulas sejam no período matutino, mas por motivos maiores existe a possibilidade que algumas aulas sejam no vespertino ou noturno.

No Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) existe uma grande dificuldade para produzir quadros de horários, devido à falta de um *software* capaz de gerar horários automatizados respeitando os requisitos da instituição, que em sua maioria são exclusivos, além da baixa quantidade de salas, dificultando o trabalho dos 17 coordenadores de cursos ao confeccionar os horários de forma manual.

Acredita-se que seja possível produzir quadros de horários para o CCA-UFES de forma automatizada por meio de meta-heurísticas, trazendo benefícios como a redução dos recursos humanos, redução do tempo de planejamento e um melhor quadro de horários do que o elaborado de forma manual.

Mariano (2014) apresentou estudos que retratam a realidade do CCA-UFES, porém considerando apenas um departamento do campus e, quanto às restrições e sua classificação, obteve os seguintes resultados:

Fortes:

1. Conflitos de professor: um professor não poderá ministrar mais de uma disciplina no mesmo dia e horário;
2. Conflitos de turmas: uma turma não poderá assistir a mais de uma aula no mesmo dia e horário;
3. Conflitos de salas: uma sala de aula não poderá estar reservada para mais de uma disciplina no mesmo dia e horário;
4. Capacidade da sala: uma turma não poderá ser alocada em uma sala cuja capacidade seja inferior ao número de alunos da turma;
5. Tipo incompatível de sala: as aulas não poderão ser alocadas em uma determinada sala que não é compatível ao tipo solicitado, por exemplo, aulas que deveriam ser realizadas em laboratórios e foram alocadas em salas normais;

6. Disciplinas “especiais”: disciplinas com 3 horas aulas semanais deverão ser alocadas em horários pré-definidos (primeiro e último horários), permitindo assim que outras disciplinas possam ser alocadas antes ou após as mesmas;
7. Aulas fora do turno: uma aula não poderá ser alocada fora do turno da oferta (diurno ou noturno).

Fracas:

8. Intervalo de trabalho do professor: o intervalo entre o primeiro e o último dia em que um professor ministrará as aulas deverá ser minimizado;
9. Janelas de horário: intervalos na grade de horários, entre duas aulas, deverão ser reduzidos;
10. Período preferencial: as disciplinas de uma turma deverão ser agrupadas em um único turno. Por exemplo, agrupar os períodos ímpares no turno da manhã e os períodos pares no turno da tarde. Assim, a quantidade de disciplinas ofertadas fora do turno “preferencial” de cada turma deverá ser minimizada;
11. Aulas seguidas: aulas de uma mesma disciplina ministradas em horários sequenciais (ou no mesmo dia) devem ser evitadas;
12. Intervalo entre períodos: a ocorrência de professores que ministram aula em um dia à noite e no dia seguinte pela manhã deverá ser minimizada;
13. Aulas seguidas de nível “difícil”: aulas de complexidade “difícil” ministradas em horários sequenciais devem ser evitadas;
14. Aulas de nível “difícil” no último horário: aulas de complexidade “difícil” ministradas no último horário de cada dia deverão ser evitadas.
15. Aulas de carga horária par: aulas com 2 ou 4 horas de carga horária não devem ser alocadas no primeiro horário do dia.

No sistema de ofertas do CCA-UFES, pode-se observar que as aulas com carga horária equivalente à 1 hora não devem ser alocadas no primeiro horário do dia. Assim, essa condição será considerada junto à restrição 15.

De acordo com os critérios apresentados, as restrições numeradas de 1 a 7 são consideradas fortes, e as numeradas de 8 a 15, fracas. A ocorrência de conflito que envolve algum dos tipos de restrições fortes inviabiliza o resultado e, por outro lado,

conflitos que envolva alguma das restrições fracas não inviabiliza o resultado, mas deverão ser minimizadas visando obter um resultado de “melhor qualidade”.

Vale ressaltar a restrição forte número 7, que compreende as disciplinas especiais, pois os estudos podem analisá-la como uma restrição fraca, visto que uma disciplina com carga horária de 3 horas, em qualquer outro horário não inviabiliza a solução. Entretanto, ao considerarmos tal restrição como fraca, não será possível inserir outras disciplinas no mesmo dia e período. As Figuras 1 e 2 exemplificam o problema pertinente à alocação de duas disciplinas do Curso de Ciências Biológicas: Informática com uma aula cuja carga horária compreende 3h, e Bioquímica com carga horária de 2 horas por aula.

Horário início	Segunda-feira
7h	-
8h	Informática
9h	Informática
10h	Informática
11h	-

Figura 1 - Primeiro Exemplo de alocação de disciplinas.

Horário início	Segunda-feira
7h	Informática
8h	Informática
9h	Informática
10h	Bioquímica
11h	Bioquímica

Figura 2 - Segundo exemplo de alocação de disciplinas.

Analisando a Figura 1, pode-se concluir que a disciplina especial de Informática, ofertada para alguns cursos como Ciências Biológicas, foi alocada de 8h as 11h. Todavia, esse curso apresenta diversas ofertas que possuem carga horária de 2h cada e, desta forma, em uma segunda-feira, a turma que faz essa disciplina fica impossibilitada de efetuar matrícula em outra, cujo horário das aulas seja no período matutino. Em contrapartida, na Figura 2, a disciplina especial foi alocada nos três primeiros horários do dia, de 7h as 10h, permitindo que a turma se matricule na disciplina de Bioquímica que ocorre de 10h as 12h. Assim, pode-se maximizar a quantidade de disciplinas ofertadas para os cursos, evitando o maior número de conflito de horários e melhorando o número de salas limitado que o centro possui.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste na aplicação das meta-heurísticas *Simulated Annealing* (SA) e *Clustering Search* (CS) para resolver o Problema de Programação de Horários das Disciplinas em Universidades (PPHDU) encontrado no Centro de

Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), visando reduzir o tempo necessário para a confecção e os recursos humanos necessários.

1.2.2. Objetivos específicos

Visando atingir o objetivo principal, alguns objetivos específicos foram estabelecidos, entre eles:

a) Coletar dados e informações referentes à programação de horários do CCA-UFES;

b) Desenvolver as adaptações necessárias para modelagem do PPHDU e aplicação da SA e CS;

c) Aplicar a SA e a CS a problemas tese para o PPHDU, com base nos dados obtidos no CCA-UFES;

d) Avaliar o desempenho dos métodos por meio de experimentos computacionais.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2, são apresentadas outras abordagens encontradas na literatura para solucionar o problema. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Os resultados obtidos estão descritos no Capítulo 4, e as conclusões são apresentadas no Capítulo 5.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos relacionados ao Problema de Programação de Horários de Disciplinas em Universidades (PPHDU), com a utilização de diversos métodos para solucionar o problema. A seguir, é apresentada uma breve revisão da literatura.

Csima e Gotlieb (1964) apresentaram uma solução envolvendo matrizes booleanas, tornando-se os precursores na solução de Programação de Horários Escolares – PHE.

A utilização da *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos, Algoritmos Meméticos, *Iterated Local Search* (ILS), *Variable Neighborhood Descent* (VND), *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) e a combinação de diferentes métodos foram propostas de solução para o problema. Publicações com essas técnicas podem ser encontradas em Abramson (1991), Colorni et al. (1998), Preis (2007), Carvalho (2011), Barbosa e Souza (2011), Oliveira e Viana (2012) e Fonseca e Santos (2013).

Abramson (1991) aponta como solução do PHE a utilização do *Simulated Annealing* de forma paralela. Por sua vez Colorni et al. (1998) propuseram três distintas soluções. Na primeira, empregam o *Simulated Annealing*, e na segunda os autores aplicam a Busca Tabu. Por fim, na terceira solução, exploram o uso do Algoritmo Genético com e sem busca local.

Preis (2007) utilizou algoritmos genéticos para solucionar o problema. Em contrapartida, Carvalho (2011) propôs a meta-heurística hibrida ILS-VND. Barbosa e Souza (2011) solucionaram o problema de programação de horários em instituições de ensino utilizando uma meta-heurística hibrida GRASP-ILS. Para gerar a solução inicial, os autores adotaram o GRASP e o ILS com relaxamento visando refinar a solução obtida pelo GRASP.

Oliveira e Viana (2012) propuseram a utilização da meta-heurística hibrida GRASP-VND, utilizando o VND como procedimento para gerar uma solução inicial para o GRASP. Fonseca e Santos (2013) solucionam o problema por meio da aplicação de um algoritmo memético.

Spindler (2010) adotou a meta-heurística evolutiva Busca Dispersa combinada com o método reconexão por caminhos para solucionar o problema. Fonseca et. al. (2011) criou uma solução inicial reduzindo-a ao Problema da Satisfazibilidade Proposital (SAT) e em seguida aplicou a Busca Tabu objetivando aprimorar a solução encontrada.

Mariano (2014) resolveu o PPHDU aplicando a meta-heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) ao Departamento de Computação do CCA-UFES. O autor obteve resultados melhores quando comparados com o quadro de horários elaborado de forma manual.

Na literatura, destaca-se a utilização de diferentes meta-heurísticas para solucionar o PPHDU, como a SA, ALNS, busca tabu, algoritmos genéticos, algoritmos meméticos, e a combinação de diferentes métodos. Tal problema é de difícil comparação de resultados com os encontrados na literatura, pois cada instituição de ensino possui um conjunto de restrições específico.

As bibliografias descritas acima representam apenas uma parte dos principais trabalhos sobre o problema abordado, sendo que dentre esses, o trabalho apresentado por Mariano (2014) foi utilizado como bibliografia base para esta pesquisa.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho está dividida em três partes, sendo a primeira referente à modelagem do problema e à representação de uma solução. A segunda parte retrata a coleta de dados e por fim a última parte destaca os métodos utilizados.

3.1. MODELAGEM DO PROBLEMA

Para que fosse possível solucionar o PPHDU proposto neste trabalho, foi essencial modelar o problema especificando as entidades a serem utilizadas. Além disso, foi necessário definir a estrutura de dados que melhor representa cada entidade. Foram identificadas, por meio do sistema da UFES, as seguintes entidades: professor, disciplina, tipo de sala, sala, horário, turma e oferta. Essa modelagem é similar à proposta por Mariano (2014).

A Figura 3 apresenta a estrutura da entidade professor que é composta por dois atributos, um identificador único (id) e o nome do professor.

id	Nome do professor
0	Edmar Hell Kampke
1	Geraldo Regis Mauri

Figura 3 - Entidade Professor.

A entidade disciplina é estruturada com quatro atributos: identificador único (id), código da disciplina, nome da disciplina e nível de dificuldade. O nível de dificuldade é representado por um valor binário, no caso “0” para representar uma disciplina de nível normal e “1” para nível difícil. Foi necessária a criação do atributo para atender a critérios pedagógicos, apresentados no Capítulo 1. A Figura 4 demonstra a estrutura da entidade.

id	Código da disciplina	Nome da disciplina	Nível de Dificuldade
0	COM10131	Otimização Linear	0
1	DBI10798	Educação Ambiental	0
2	DFN10585	Bioquímica II	0

Figura 4 - Entidade Disciplina.

A entidade tipo de sala foi definida com o intuito de identificar o tipo das salas de aula (entidade sala). Nesse caso, a ideia é definir se uma sala é normal ou um

laboratório específico. Essa entidade engloba dois atributos: identificador único (id), e o tipo. É possível observar a entidade tipo de sala na Figura 5.

id	Tipo de sala
0	Clínica escola nutrição
1	Laboratório anatomia animal
2	Laboratório de informática

Figura 5 - Entidade Tipo de Sala.

Com a intenção de definir onde a disciplina será ministrada, foi criada a entidade sala, definida por cinco atributos: identificador único (id), prédio, tipo, número da sala e capacidade.

Pode-se constatar por meio da Figura 6 que existe uma ligação entre as entidades sala e tipo de sala. A ligação ocorre por meio do atributo tipo da entidade sala, que mantém o identificador único da entidade tipo de sala.

id	Prédio	Tipo	Número da sala	Capacidade
0	Central	1	11	30
1	Alimentos	0	11	25
2	Novo	2	17	20

Figura 6 - Entidade Sala.

A Figura 7 representa a entidade horário, que é composta pelos horários de aula do CCA-UFES. Essa entidade possui um total de quatro atributos: identificador único (id), horário de início, horário de término e tempo de aula.

id	Horário de início	Horário de término	Tempo de aula
0	07h00	08h00	60
1	08h00	09h00	60
2	09h00	10h00	60

Figura 7 - Entidade Horário.

Já a entidade turma (Figura 8), caracteriza-se por quatro atributos: identificador único (id), curso, período e turno, que representam um período de um determinado curso, por exemplo, na Figura 8 temos a Turma 0, que representa o oitavo período do curso de Geologia. O atributo turno limita-se a apenas três valores, “0” para matutino, “1” para vespertino e “2” para noturno.

id	Curso	Período	Turno
0	Geologia	8	0
1	Biologia Licenciatura	1	2
2	Sistemas de Informação	5	2

Figura 8 - Entidade turma.

Por fim, a entidade oferta, detalhada na Figura 9, é concebida por meio da combinação de diversos elementos e com os identificadores únicos relacionando as entidades descritas acima. Essa entidade engloba nove atributos: identificador único (id), disciplina, número de turmas, vetor de turmas, vagas, turno, professor, tipo de sala e carga horária.

Os atributos contidos em disciplina, vetor de turmas, professor e tipo de sala são respectivamente os identificadores únicos das entidades disciplina, turma, professor e tipo de sala.

Em contrapartida, o atributo número de turmas representa a quantidade de turmas contidas no vetor de turmas. O atributo vagas representa a quantidade máxima de alunos para um determinada oferta, e o atributo turno que corresponde ao turno preferencial para a oferta (“0” para matutino, “1” para vespertino e “2” para noturno). Por fim, o atributo carga horária representa a duração da aula da oferta.

Deve-se ressaltar que, caso ocorra duas ou mais aulas de uma disciplina durante a semana com uma carga horária qualquer, haverá duas ou mais ofertas na entidade oferta, cada uma representando uma aula da semana.

id	Disciplina	Nº de turmas	Turmas [ ]	Vagas	Turno	Professor	Tipo de sala	Carga Horária
0	0	1	2	25	2	1	2	2

Figura 9 - Entidade oferta.

3.2. REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

Uma solução é representada por três matrizes tridimensionais, que representam três recursos distintos, salas de aula, turmas e professores. A primeira matriz possui dimensões S (salas de aula), H (horários disponíveis) e D (dias letivos). Nas células dessa matriz, são inseridos os códigos das ofertas que variam de 0 a *n*, sendo que *n* é o maior identificador único da entidade oferta. Caso um horário não esteja disponível para alocação de ofertas, este será representado pelo valor (-2), e por (-1)

se o horário estiver disponível, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11. Neste trabalho todos os horários são considerados disponíveis exceto os de intervalo de almoço (12h às 13h e 30min). As cores azul, vermelho e cinza nas figuras representam respectivamente os turnos matutino, vespertino e noturno.

Sala 0					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	0	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	0	-1	-1	2	-1
09h00 – 10h00	0	-1	-1	2	-1
10h00 – 11h00	-1	1	-1	-1	-1
11h00 – 12h00	-1	1	-1	-1	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	-1	3	-1	-1
14h30 – 15h30	-1	-1	3	-1	-1
15h30 – 16h30	-1	-1	-1	4	-1
16h30 – 17h30	-1	-1	-1	4	-1
17h30 – 18h20	-1	-1	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	-1	-1	6	-1	-1
19h10 – 20h00	-1	-1	6	-1	-1
20h00 – 20h50	5	-1	-1	-1	7
21h00 – 21h50	5	-1	-1	-1	-1
21h50 – 22h40	5	-1	-1	-1	-1

Figura 10 – Exemplo de matriz para a sala 0.

Sala 1					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	-1	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	-1	-1	-1	-1	-1
09h00 – 10h00	-1	-1	-1	-1	-1
10h00 – 11h00	19	-1	-1	18	-1
11h00 – 12h00	19	-1	-1	18	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	14	-1	17	20
14h30 – 15h30	-1	14	-1	17	20
15h30 – 16h30	-1	15	16	-1	-1
16h30 – 17h30	-1	15	16	-1	-1
17h30 – 18h20	-1	15	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	9	10	-1	13	12
19h10 – 20h00	9	10	-1	13	12
20h00 – 20h50	-1	8	11	13	-1
21h00 – 21h50	-1	8	11	13	-1
21h50 – 22h40	-1	-1	-1	-1	-1

Figura 11 – Exemplo de matriz para a sala 1.

A segunda matriz possui dimensões T (turma), H (horários disponíveis) e D (dias letivos). Já a terceira matriz possui dimensões P (professor), H (horários disponíveis) e D (dias letivos). Nas células dessas duas matrizes são inseridos os identificadores únicos das salas na mesma posição (dia e horário) que a oferta (na primeira matriz), o valor (-1) representa um horário disponível.

As Figuras 12 e 13 representam os horários das turmas e as Figuras 14 e 15 representam os horários dos professores, criados a partir da matriz de salas de aula (Figuras 10 e 11). Cada cor representa uma sala para o exemplo.

Turma 0					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	0	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	0	-1	-1	0	-1
09h00 – 10h00	0	-1	-1	0	-1
10h00 – 11h00	1	0	-1	1	-1
11h00 – 12h00	1	0	-1	1	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	1	0	1	1
14h30 – 15h30	-1	1	0	1	1
15h30 – 16h30	-1	1	1	0	-1
16h30 – 17h30	-1	1	1	0	-1
17h30 – 18h20	-1	1	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	-1	-1	-1	-1	-1
19h10 – 20h00	-1	-1	-1	-1	-1
20h00 – 20h50	-1	-1	-1	-1	-1
21h00 – 21h50	-1	-1	-1	-1	-1
21h50 – 22h40	-1	-1	-1	-1	-1

Figura 12 - Exemplo de matriz para a turma 0.

Turma 1					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	-1	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	-1	-1	-1	-1	-1
09h00 – 10h00	-1	-1	-1	-1	-1
10h00 – 11h00	-1	-1	-1	-1	-1
11h00 – 12h00	-1	-1	-1	-1	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	-1	-1	-1	-1
14h30 – 15h30	-1	-1	-1	-1	-1
15h30 – 16h30	-1	-1	-1	-1	-1
16h30 – 17h30	-1	-1	-1	-1	-1
17h30 – 18h20	-1	-1	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	1	1	0	1	1
19h10 – 20h00	1	1	0	1	1
20h00 – 20h50	0	1	1	1	0
21h00 – 21h50	0	1	1	1	-1
21h50 – 22h40	0	-1	-1	-1	-1

Figura 13 - Exemplo de matriz para a turma 1.

Professor 0					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	0	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	0	-1	-1	-1	-1
09h00 – 10h00	0	-1	-1	-1	-1
10h00 – 11h00	1	0	-1	-1	-1
11h00 – 12h00	1	0	-1	-1	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	1	0	-1	-1
14h30 – 15h30	-1	1	0	-1	-1
15h30 – 16h30	-1	1	1	-1	-1
16h30 – 17h30	-1	1	1	-1	-1
17h30 – 18h20	-1	1	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	1	1	-1	-1	-1
19h10 – 20h00	1	1	-1	-1	-1
20h00 – 20h50	0	1	-1	-1	-1
21h00 – 21h50	0	1	-1	-1	-1
21h50 – 22h40	0	-1	-1	-1	-1

Figura 14 - Exemplo de matriz para o professor 0.

Professor 1					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	-1	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	-1	-1	-1	0	-1
09h00 – 10h00	-1	-1	-1	0	-1
10h00 – 11h00	-1	-1	-1	1	-1
11h00 – 12h00	-1	-1	-1	1	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	-1	-1	1	1
14h30 – 15h30	-1	-1	-1	1	1
15h30 – 16h30	-1	-1	-1	0	-1
16h30 – 17h30	-1	-1	-1	0	-1
17h30 – 18h20	-1	-1	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	-1	-1	0	1	1
19h10 – 20h00	-1	-1	0	1	1
20h00 – 20h50	-1	-1	1	1	0
21h00 – 21h50	-1	-1	1	1	-1
21h50 – 22h40	-1	-1	-1	-1	-1

Figura 15 - Exemplo de matriz para o professor 1.

3.3. COLETA DE DADOS

Os dados coletados para este trabalho foram obtidos por meio de diversos setores do CCA-UFES, sendo referentes ao período letivo 2014/2. A seguir, são apresentadas as principais fontes de informações:

- Secretaria Acadêmica do CCA-UFES → grades de horários das salas de aulas e relatórios de todos os departamentos do CCA, contendo todas as ofertas do semestre.
- Coordenadores dos cursos → grades de horários, relatório de oferta de disciplinas para o curso e fluxogramas.
- Sistema *online* (portal do aluno da UFES) → currículo dos cursos.

Após a etapa de coleta de dados, realizou-se a normalização dos dados obtidos a fim de padronizar e inserir as informações nas entidades (descritas na Seção 3.1). Algumas disciplinas não foram inseridas na entidade oferta e, os motivos para tal são apresentados a seguir, categorizados por curso.

3.3.1 Agronomia

Existem duas ofertas da disciplina optativa “Análise de Sementes” no sistema, sendo uma sem horário alocado. Portanto, a oferta sem horário definido foi desconsiderada para este trabalho.

A disciplina “Técnica de alimentos” possui horário marcado em dois laboratórios (química dos alimentos e TPA) em um mesmo dia e horário. Nesse caso, foi considerado o laboratório de química dos alimentos para alocação dessa disciplina.

3.3.2 Biologia Bacharelado

Por meio das grades de horários das salas de aula, observou-se que a disciplina “Paleobiologia”, ofertada para o 6º período do curso, possui aulas alocadas em dois laboratórios, sedimentologia e zoologia. Nesse caso, foi considerado que a mesma deveria ser ofertada no laboratório de zoologia.

A disciplina “Imunologia” foi desconsiderada para esse trabalho, pois no segundo semestre de cada ano, os períodos correntes são pares (2º, 4º, 6º e 8º), e no portal do aluno é possível observar que a disciplina é ofertada para o 7º período do curso.

3.3.3 Biologia Licenciatura

No sistema de ofertas do CCA-UFES, existem 3 turmas para a disciplina “Biologia Celular”, sendo que para a última turma não existem alunos matriculados. Portanto, essa turma foi desconsiderada neste trabalho.

A oferta da disciplina “Base Teórico-práticas de Paleontologia e Evolução” ocorre duas vezes em um mesmo horário, dia e com o mesmo professor, sendo sua única diferença o código da disciplina (DBI11452 e DBI11327). Nesse caso, decidiu-se que seria inserida apenas uma única oferta utilizando o código DBI11327.

Também foi possível observar nos relatórios que a oferta da disciplina “Preparação e Análises de Material Histológico” não apresenta horários definidos, para isso foi definido que seriam duas ofertas com carga horária de 2 horas cada. Também não havia horário marcado para a disciplina nas grades de horários das salas. Porém, após conversas com alunos do curso, obteve-se a informação de que as aulas ocorriam no laboratório de anatomia humana, e assim foi considerado neste trabalho.

3.3.4 Ciência da Computação

Por meio dos relatórios, foram identificadas duas turmas da disciplina de “Programação I”. Porém, as duas turmas possuem o mesmo professor, mesmo dia e horário de aula. Então, foi considerada apenas uma turma.

Foi possível constatar que a disciplina “Processamento Digital de Imagens” não foi ofertada no período, pois nenhuma vaga para matrícula de alunos foi disponibilizada.

3.3.5 Engenharia de Alimentos

Nos relatórios foram detectadas as disciplinas “Lógica e técnica de Programação” e “Projetos Agroindustriais II”, ofertadas fora dos períodos corretos. Logo, as mesmas não foram consideradas.

As aulas da disciplina “Desenvolvimento de Novos Produtos” estão alocadas para dois laboratórios (sensorial e TPA) no mesmo dia e horário. Então, neste trabalho, foi considerado que as aulas ocorrem no laboratório TPA. O mesmo problema ocorre com as aulas de “Tecnologia da Industrialização do Café” (laboratório TPA e de

operações unitárias). Da mesma forma, foi escolhido o laboratório TPA para este trabalho.

3.3.6 Engenharia Florestal

A entrada de novos alunos ocorre sempre no primeiro semestre (períodos ímpares) de cada ano. Assim, como os dados utilizados neste trabalho são referentes ao segundo semestre do ano de 2014, ou seja, quando ocorrem aulas apenas dos períodos pares, as disciplinas ofertadas em períodos ímpares foram desconsideradas neste trabalho.

As aulas do curso ocorrem no campus principal do CCA (Alegre – ES) e em sua extensão na cidade de Jerônimo Monteiro – ES. Logo, como foram consideradas neste trabalho apenas as disciplinas ofertadas no campus principal do CCA, diversas disciplinas foram desconsideradas. A Tabela 1 apresenta as disciplinas desconsideradas e o respectivo período e motivo.

Tabela 1 - Disciplinas desconsideradas para o curso de Engenharia Florestal.

Disciplina	Período	Motivo
Ecologia Básica	1º	Fora do período correto.
Bioquímica	3º	
Física do Solo		
Física Básica		
Geomática II		
Estatística Básica		
Anatomia da Madeira	5º	
Meteorologia Florestal		
Manejo e Conservação do Solo		
Administração de Empreendimento Florestal	9º	
Dendrometria	6º	Aulas na cidade de Jerônimo Monteiro.
Nutrição Florestal		
Sementes Florestais		
Tecnologia da Madeira		
Colheita, Transporte e Logística Florestal		
Arborização e Paisagismo	8º	
Avaliação de Impactos Ambientais e Perícia Ambiental		
Construções de Madeira		
Manejo Florestal		
Práticas Silviculturais		
Hidráulica e Irrigação Aplicada		
Meio Ambiente e Desenvolvimento	Optativa	

Sustentável		
Produtos Florestais e não Madeireiros		
Tecnologia da Produção de Celulose e Papel		
Aproveitamento de Resíduos de Madeira		
Transportes e Estradas Florestais		
Economia Ambiental		Não possui alunos matriculados.
Deterioração e Proteção de Madeira		

3.3.7 Engenharia Industrial Madeireira

A entrada de novos alunos ocorre sempre no segundo semestre de cada ano. Logo, as disciplinas dos períodos pares foram desconsideradas. Algumas disciplinas são ofertadas na cidade de Jerônimo Monteiro – ES, e então as mesmas também foram desconsideradas. A Tabela 2 destaca as disciplinas desconsideradas e os respectivos motivos e período.

Tabela 2 - Disciplinas desconsideradas para o curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Disciplina	Período	Motivo
Introdução à Engenharia Industrial Madeireira	1º	Aulas na cidade de Jerônimo Monteiro.
Recursos Madeireiros		
Anatomia da Madeira	5º	
Química da Madeira		
Tecnologia da Madeira		
Sistemas de Produção		
Teoria das Organizações		
Estruturas de Madeira		
Fundamentos da Indústria Moveleira	7º	
Tecnologia da Produção de Celulose e Papel		
Projeto e Experimentação em Estruturas de Madeira		
Secagem da Madeira		
Planejamento e Controle de Produção		
Serraria e Beneficiamento da Madeira		
Projeto de Móveis	9º	
Aproveitamento de Resíduos de Madeira		
Controle de Poluição na Indústria Madeireira		
Segurança do Trabalho na Indústria Madeireira		
Tópicos Especiais em Engenharia Industrial Madeireira II	Optativa	
Estatística Básica	2º	Fora do período correto.
Cálculo Numérico	4º	
Máquinas Térmicas		

Resistências dos Materiais		
Transferência de Calor e Massa		
Língua Brasileira de Sinais - LIBRAS	Optativa	Não possui alunos do curso matriculados.

3.3.8 Engenharia Química

As disciplinas “Cinética e Cálculo de Reatores I” e “Métodos Instrumentais de Análise” possuem duas ou mais turmas, sendo uma com horário alocado para os dias de sábado, e com apenas um único aluno. Nesses casos, as turmas com aulas aos sábados foram desconsideradas.

3.3.9 Farmácia

A disciplina “Farmacobotânica” é ofertada durante os turnos noturno e diurno. Assim, em virtude do curso de Farmácia ser especificamente noturno, a disciplina do turno diurno foi desconsiderada. Na grade de horários obtidos por meio dos diversos setores da UFES, constam aulas alocadas em duas salas distintas no mesmo dia e horário (laboratório de microscopia e laboratório de análises clínicas, por exemplo). Logo, como neste trabalho considera-se apenas um tipo de sala por oferta, definiu-se, aleatoriamente, apenas uma sala para esses casos.

As disciplinas “Bromatologia e Composição de Alimentos”, “Tecnologia dos Cosméticos”, “Biologia Clínica” e “Controle de Qualidade Microbiológico de Produtos Farmacêuticos” possuem duas turmas cada, sendo sempre uma no turno diurno e outra no turno noturno. Em razão do curso ser noturno, a turma em que as aulas ocorriam no período diurno foram desconsideradas.

A disciplina optativa “Tópicos Avançados em Química Orgânica” é ofertada para o 7º período do curso de Farmácia no turno diurno. Mais uma vez, em virtude do curso ser noturno, foi realizada uma alteração na entrada de dados, alterando o turno na entidade oferta para noturno. Com essa troca, a quantidade de aulas por semana superou o limite máximo de 25horas/aula, não permitindo assim a obtenção de um horário viável para o curso. Então, a oferta dessa disciplina foi alterada para o 9º período.

3.3.10 Física Licenciatura

Por meio de análises das ofertas referentes ao curso de Física, observa-se que a disciplina de “Cálculo C” aparece na grade no turno vespertino. Porém, em virtude do curso de Física ser noturno, a oferta foi desconsiderada.

A disciplina optativa “Física Conceitual I”, no semestre considerado, ocorre aos sábados. Assim, como neste trabalho são consideradas apenas as aulas de segunda a sexta-feira, essa disciplina constará na entidade de oferta, mas sendo sempre alocada durante a semana.

3.3.11 Geologia

Diversas disciplinas do curso de Geologia possuem aulas práticas em dias de sábado. Assim, para as disciplinas destacadas na Tabela 3, foram consideradas apenas as aulas em sala de aula.

Tabela 3 - Disciplinas Geologia com aula de campo aos sábados.

Disciplina	Período	C.H. Semanal	C.H. em salas	C.H. em campo
Geologia Geral	2º	5h	4h	1h
Sedimentologia	4º	5h	4h	1h
Geomorfologia		5h	4h	1h
Desenho Técnico Geológico		6h	4h	2h
Estratigrafia		7h	4h	3h
Pedologia para Geologia	6º	4h	3h	1h
Mapeamento Geológico II		6h	3h	3h
Geologia Estrutural		8h	4h	4h
Petrologia Magmática		6h	4h	2h
Hidrogeologia	8º	4h	3h	1h
Geologia do Brasil		7h	4h	3h
Gênese de Jazidas		6h	3h	3h
Geotecnia		4h	3h	1h

No currículo do curso de Geologia, consta na grade que a disciplina “Estratigrafia” é ofertada no 5º período. Porém, por meio dos relatórios obtidos junto à coordenadora do curso na época, foi detectado que a disciplina foi ofertada no 4º período. Então, a mesma foi considerada neste trabalho.

As aulas práticas das disciplinas “Mapeamento Geológico II”, “Petrologia Magmática” e “Gênese de Jazidas” estão alocadas em dois laboratórios (microscopia e

macroscopia) no mesmo instante de tempo. Logo, foi considerado que todas as aulas práticas dessas disciplinas devem ocorrer no laboratório de macroscopia.

3.3.12 Matemática Licenciatura

Nos relatórios do sistema de ofertas da UFES, existem duas turmas para a disciplina de “Introdução à Informática” para o curso. Nesse caso, foi identificado que as aulas ocorrem em conjunto com a turma de Sistemas de Informação, que possui uma única professora e é ofertada em um mesmo dia e horário. Portanto, considerou-se apenas uma única turma.

Foram identificadas duas turmas para a disciplina “Didática Matemática”, sendo uma turma com horário de início às 17h e 30min. Assim, como o curso de Matemática é noturno, a turma com horário de início no período da tarde não foi inserida na entidade oferta.

3.3.13 Medicina Veterinária

As aulas do curso de Medicina Veterinária ocorrem em geral em dois locais, sendo as aulas teóricas no CCA-UFES ou no Hospital Veterinário (HOVET), e as aulas práticas sempre no HOVET. Neste trabalho, foi considerado apenas o campus principal do CCA e, então, as aulas ofertadas no HOVET (descritas na Tabela 4) foram desconsideradas.

Tabela 4 - Disciplinas desconsideradas por ocorrerem no HOVET.

Disciplina	Aulas desconsideradas	Período
Farmacologia Veterinária	Prática	4º
Patologia Geral	Prática	4º
Microbiologia Veterinária	Prática	4º
Diagnóstico por Imagem I	Teórica e prática	6º
Laboratório Clínico Veterinário	Teórica e prática	6º
Anestesiologia Veterinária	Prática	6º
Doenças Parasitárias	Prática	6º
Inspeção de Produtos de Origem Animal I	Teórica e prática	8º
Clínica Médica de Animais de Companhia II	Teórica e prática	8º
Obstetrícia Veterinária	Teórica e prática	8º
Clínica Cirúrgica de Animais de Companhia	Teórica e prática	8º
Clínica Médica de Animais de Produção II	Teórica e prática	8º
Fisiopatologia e Biotecnologia da Reprodução em Animais de Companhia	Teórica e prática	8º

Oftalmologia Veterinária	Teórica e prática	Optativa
Anatomia por Imagem	Teórica e prática	Optativa
Práticas em Programas Educacionais de Controle Populacional de Carnívoros	Teórica e prática	Optativa

As disciplinas apresentadas na Tabela 5 foram desconsideradas devido à entrada de novos alunos sempre no primeiro semestre de cada ano. Por isso, no segundo semestre, existem apenas disciplinas para os períodos “pares”. Além disso, disciplinas sem alunos matriculados e/ou professores vinculados também foram desconsideradas.

Tabela 5 - Disciplinas desconsideradas fora do período correto

Disciplina	Motivo
Imunologia Veterinária	Fora do período correto.
Bovinocultura de Corte e de Leite	
Melhoramento Animal Básico	
Inspeção de Produtos de Origem Animal II	
Clínica Cirúrgica de Animais de Produção	
Técnicas Histológicas	Não possui alunos matriculados.
Estatística Experimental	
Melhoramento Animal Aplicado	Não possui alunos matriculados e/ou não possui professor vinculado.
Gestão de Empresas no Agronegócio	
Criação e Preservação de Animais Silvestres	
Apicultura	
Método PBL Aplicado a Medicina Veterinária de Ruminantes	
Fisiopatologia aplicada a animais de companhia	
Vigilância Sanitária de Alimentos	
Animais de laboratório	

A disciplina “Anatomia Veterinária II” possui três turmas, sendo que as aulas teóricas ocorrem para as três em uma única sala e em um mesmo horário. Porém, no sistema as aulas estão cadastradas com professores diferentes. Logo, foi considerado apenas um professor. O mesmo problema ocorre com a disciplina “Patologia Geral”.

A disciplina “Tecnologia de Produtos de Origem Animal I” ocorre no mesmo horário e dia em dois laboratórios distintos (química dos alimentos e TPA). Logo, foi considerado, nesse caso, o laboratório de química dos alimentos.

3.3.14 Nutrição

O curso de Nutrição possui entrada de alunos apenas no primeiro semestre de cada ano letivo. Portanto, no segundo semestre devem ocorrer aulas apenas das disciplinas para os períodos pares. Assim, as disciplinas “Imunologia” e “Microbiologia”, ofertadas no 3º período do curso, foram desconsideradas.

Nos relatórios do sistema da UFES é possível observar que a disciplina “Metodologia Científica” é ofertada no 3º período. Porém, por meio de informações obtidas junto à coordenadora do curso no ano de 2014, não houve turmas para a disciplina no período correto (3º período) e, por isso, a mesma foi oferecida para que os alunos 4º período (antigo 3º) pudessem realizá-la no segundo semestre. Então, assim foi considerado neste trabalho.

A disciplina “Tópicos Especiais em Alimentos e Nutrição” não possuía alunos matriculados e, portando, não foi considerada neste trabalho.

3.3.15 Química Licenciatura

No relatório obtido, a disciplina optativa “Tópicos Especiais em Química Orgânica” ocorre aos sábados. Assim, como neste trabalho são consideradas apenas as aulas de segunda a sexta-feira, essa disciplina constará na entidade de oferta, mas sendo sempre alocada durante a semana.

3.3.16 Sistemas de Informação

Nos relatórios obtidos, existem duas turmas para as disciplinas “Programação I” e “Introdução à Informática”. Essas turmas foram criadas devido à quantidade de alunos que entram no curso anualmente (70 alunos) e à capacidade dos laboratórios de informática (40 alunos). Entretanto, observou-se que as duas turmas possuem o mesmo horário de aula e a mesma professora, o que indica que foi aberta apenas uma única turma para cada uma das disciplinas.

Apesar de constar nos relatórios a disciplina optativa “Computação Móvel”, observou-se que não haviam alunos matriculados e, portanto, concluiu-se que a mesma não foi ofertada.

3.3.17 Zootecnia

Por meio de informações obtidas na UFES, observa-se que o período de entrada de novos alunos ocorre uma única vez ao ano, no primeiro semestre. Assim, apenas turmas de períodos pares são ofertadas no segundo semestre. Portanto, as disciplinas pertencentes a períodos ímpares (descritas na Tabela 6) foram desconsideradas para a realização deste trabalho.

Tabela 6 - Disciplinas desconsideradas - Zootecnia.

Disciplina	Período	Disciplina	Período
Estatística Básica	3º	Sociologia Rural	5º
Física Básica	3º	Forragicultura Básica	5º
Microbiologia	3º	Nutrição de Ruminantes	5º
Bromotologia Animal	3º	Construções Rurais	7º
Bioclimatologia Animal	3º	Melhoramento Animal Aplicado	7º
Fertilidade do Solo	5º	Tecnologia de Alimentos	9º

No sistema de ofertas existem duas turmas da disciplina “Bovino Cultura”, sendo que uma turma não possui alunos matriculados. Assim, foi considerada apenas a turma com alunos matriculados.

A disciplina “Economia e Administração Agroindustrial” é ofertada em mesmo horário e em uma única turma, para os cursos de Agronomia e Zootecnia. Porém, no sistema de ofertas da UFES, para cada turma é representada a disciplina com um professor distinto. Logo, como neste trabalho é considerado apenas um professor por oferta, um dos professores foi desconsiderado.

3.3.18 Outras informações

Algumas turmas dos cursos foram duplicadas ou triplicadas devido a aulas em laboratórios que possuem duas ou mais turmas para o mesmo período e curso.

Em todos os cursos existem ofertas referente às disciplinas Trabalho de Conclusão de Curso e Estágios e, em geral, as aulas referentes a essas disciplinas não ocorrem semanalmente. Por isso, nenhuma dessas disciplinas foi considerada neste trabalho.

Os laboratórios de macroscopia, simulações, anatomia animal, química e física tiverem sua capacidade aumentada em relação ao que foi obtido nos relatórios da

UFES, pois algumas aulas que ocorriam nesses laboratórios possuíam uma quantidade de alunos superior a capacidade declarada. A capacidade dos laboratórios de macroscopia e simulações foram ampliadas para 35 alunos, e os demais para 30 alunos.

No caso da restrição das ofertas fora do período preferencial (restrição 10 - Capítulo 1), foi considerado na entidade oferta como período preferencial aquele no qual a disciplina foi ofertada no segundo semestre do ano de 2014. Porém, com essa condição, podem existir conflitos entre o período preferencial para a turma e o período preferencial para a oferta. Por exemplo, para os cursos de Engenharia Florestal, Engenharia Industrial Madeireira e Medicina Veterinária, o horário preferencial para o curso é o turno matutino, devido às aulas que ocorrem em prédios localizados fora do CCA-UFES, como na cidade de Jerônimo Monteiro para os dois primeiros cursos e no Hospital Veterinário localizado na ES-482 entre Alegre e Jerônimo Monteiro, para o último curso. Mas, no relatório de ofertas atual, algumas aulas ocorrem no turno vespertino para esses cursos, gerando dessa forma um conflito da restrição fora do período preferencial.

Na condição da restrição do professor que trabalha no turno noturno e no dia seguinte pelo turno matutino (restrição 12 - Capítulo 1), foi considerado o professor que leciona a partir das 20h no dia anterior e a antes das 9h do dia seguinte.

Com relação ao intervalo de trabalho do professor (restrição 8 – Capítulo 1), foi definido um intervalo de 3 dias.

3.4. FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo visa minimizar a ocorrência das restrições descritas no Capítulo 1. A estratégia adotada por Mariano (2014), e que foi seguida neste trabalho, propõe penalizar a ocorrência de restrições, tendo por objetivo evitar que sejam consideradas soluções inviáveis, ou seja, a ocorrência de restrições do tipo forte. Sendo assim, foi utilizada a função objetivo proposta por Mariano (2014), apresentada a seguir.

$$\text{Minimizar } f(sol) = \omega_1 \sum_{p=1}^{P} CP_p + \omega_2 \sum_{t=1}^{T} CT_t + \omega_3 \sum_{s=1}^{S} CS_s + \omega_4 \sum_{s=1}^{S} VS_s + \omega_5 TSI$$

$$+ \omega_6 D3H + \omega_7 FTO + \omega_8 \sum_{p=1}^{P} IT_p + \omega_9 \sum_{t=1}^{T} JH_t + \omega_{10} \sum_{t=1}^{T} PP_t + \omega_{11} \sum_{d=1}^{D} AS_d$$

$$+ \omega_{12} \sum_{p=1}^{P} ND_d + \omega_{13} ASD + \omega_{14} ADU + \omega_{15} DHP$$

Os pesos das restrições foram estabelecidos durante a implementação, e compreendem o conjunto **ω** = [$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \ldots, \omega_{14}$]. Todas as restrições apresentadas no Capítulo 1 são consideradas na Função Objetivo (FO).

1. CP_p = número de conflitos do professor *p*, ou seja, o número de vezes que o professor *p* ministra aula no mesmo dia e horário;
2. CT_t = número de conflitos da turma *t*, ou seja, o número de vezes que os alunos da turma *t* assistem mais de uma aula no mesmo dia e mesmo horário;
3. CS_s = número de conflitos da sala *s*, ou seja, o número de vezes que a sala *s* está atribuída a mais de uma turma no mesmo dia e mesmo horário;
4. VS_s = número de violações na capacidade da sala *s*, ou seja, o número de turmas alocadas na sala *s* cujo número de alunos é maior que a capacidade da sala;
5. TSI = número de aulas alocadas em salas de tipo “incompatível”, ou seja, se 10 aulas devem ser em laboratório e foram alocadas em salas normais, *TSI* = 10;
6. $D3H$ = número de disciplinas de 3 horas aulas semanais alocadas fora dos horários “padrão” (primeiro e último horário, tanto do dia quanto da noite);
7. FTO = número de aulas alocadas fora do turno especificado na oferta.
8. IT_p = diferença entre o primeiro e último dia em que o professor p ministra aulas em relação a um intervalo padrão.

9. JH_t = número de janelas de horário da turma *t*, ou seja, o número de horários vagos entre aulas ao longo da semana para a turma *t*;
10. PP_t = número aulas da turma *t* fora do seu período preferencial (M,T,N), que deverá ser mais um parâmetro de entrada. Ex: o período preferencial para a turma 1 é a tarde (T), logo, PP_1 = ao número de aulas para essa turma alocadas no período da manhã;
11. AS_d = número de aulas seguidas da disciplina *d*, ou seja, o número de vezes que a disciplina *d* é repetida num mesmo dia;
12. ND_p = número de vezes que o professor *p* ministra aula à noite em um dia e pela manhã no dia seguinte;
13. ASD = número de aulas seguidas de disciplinas de nível difícil, ou seja, o número de vezes ao longo da semana em que duas disciplinas "difíceis" são consecutivas;
14. ADU = número de aulas de disciplinas de nível difícil ministradas no último horário, ou seja, o número de vezes ao longo da semana em que disciplinas "difíceis" são ministradas no último horário da tarde e da noite.
15. DHP = numero de aulas de disciplinas, do turno matutino, com carga horária par, ou com 1 hora aula, alocadas no primeiro horário do dia.

3.5. *SIMULATED ANNEALING*

A *Simulated Annealing* (SA), proposta inicialmente por Kirkpatrick et. al. (1983), consiste em um método de busca local que permite movimentos que gerem uma solução com resultado pior que o atual como forma de escapar de ótimos locais.

A partir de uma solução inicial qualquer *s*, o algoritmo é iniciado, selecionando aleatoriamente uma solução *s'* vizinha de *s*. Neste trabalho, foram utilizados dois movimentos (*N*(*s*)) para gerar uma solução *s'*. Esses movimentos são descritos nas Seções 3.4.2 e 3.4.3. A variação do valor da função objetivo Δ, isto é, $\Delta = f(s') - f(s)$, é verificada a cada geração de *s'*. Caso $\Delta < 0$, a solução *s'* possui melhor valor em relação à solução *s* (para problemas de minimização) e, portanto, o método aceita a solução *s'*, que por sua vez passa a ser a nova solução *s*. Por outro lado, se $\Delta \geq 0$, calcula-se a possibilidade de aceitação $e^{(-\Delta/T)}$, em que *T* representa um parâmetro do método denominado temperatura, cuja função consiste em regular a viabilidade

de aceitação de soluções com valor da função objetivo pior. A execução da SA é encerrada quando a temperatura atinge um valor próximo à zero, ou seja, quando nenhuma solução que piore o valor da solução é aceita. A Figura 16 apresenta o pseudocódigo da SA.

```
1.  Dado (α, SA_max, T_0, T_c e s)
2.  s* ← s          iter ← 0     T ← T_0
3.  ENQUANTO T > T_C FAÇA
4.     ENQUANTO iter < SA_max FAÇA
5.        iter ← iter + 1          s' ← N(s)       Δ ← f(s') - f(s)
6.        SE Δ < 0 ENTÃO
7.           s ← s'
8.           SE (f(s') < f(s*)) ENTÃO   s* ← s'  FIM-SE;
9.        SENÃO
10.          Com probabilidade e^(-Δ/T) s ← s'
11.       FIM-SE
12.    FIM-ENQUANTO
13.    T ← αT     iter ← 0
14. FIM-ENQUANTO
15. Retornar s*
```

Figura 16 - Algoritmo SA.
Fonte: Adaptado de Mauri (2005).

3.5.1. Solução inicial

Neste trabalho, a solução inicial necessária para o algoritmo SA é construída por meio de uma heurística gulosa, que consiste na ordenação das ofertas decrescentemente pelo número de vagas. A partir dessa ordenação, cada oferta é inserida na solução inicial respeitando três critérios:

- Será alocada somente em salas do mesmo tipo que o especificado para a oferta.
- Será inserida apenas se a capacidade da sala for maior ou igual ao número de vagas da oferta.
- Será alocada respeitando o turno especificado para a oferta.

3.5.2. Movimento 1

Esse movimento representa a troca de uma oferta para um novo horário e dia em qualquer uma das salas, desde que a nova sala tenha horário disponível para a alocação da oferta.

3.5.3. Movimento 2

Nesse movimento, ocorre a troca entre duas ofertas, ou seja: a oferta 1 passa para o dia, horário e sala da oferta 2 e, em contrapartida, a oferta 2 passa para o dia, horário e sala em que ocorre a oferta 1, com a condição de as duas ofertas devem possuir a mesma carga horária.

3.6. *CLUSTERING SEARCH*

A *Clustering Search* – CS (OLIVEIRA; LORENA, 2007) é uma meta-heurística híbrida derivada do algoritmo *Evolutionary Clustering Search* (ECS), proposto por Oliveira e Lorena (2004), com o intuito de generalizar o algoritmo.

Chaves e Lorena (2010) descrevem a CS como um método iterativo no qual realiza o agrupamento de novas soluções em *clusters* para localização de regiões hipoteticamente promissoras. Um *cluster i* é definido por um conjunto de três propriedades $C = \{c, v, r\}$, sendo seu centro representado por c_i. A quantidade de soluções agrupadas ao cluster *i* é representada pelo volume v_i e, quando esse atinge um valor máximo λ, a região é considerada promissora e, portanto, deve-se verificar o seu índice de ineficácia, definido como r_i. O índice de ineficácia verifica se o centro do *cluster i* está sendo melhorado com a busca local e, caso o r_i atinja um valor r_{max}, será aplicado uma perturbação no centro, objetivando escapar de uma região ruim ou suficientemente explorada.

Na Figura 17 está representado o fluxograma de execução da CS com seus principais componentes.

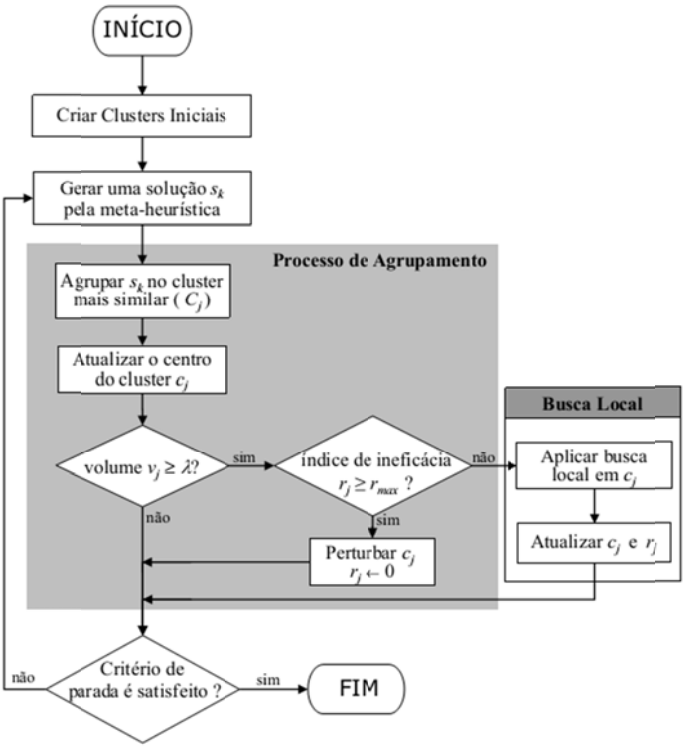

Figura 17 - Fluxograma da CS
Fonte: Chaves e Lorena (2010).

A Figura 18 representa o pseudocódigo da CS implementada neste trabalho.

```
1.  Criar γ novas soluções (clusters) aleatoriamente
2.  v_i ← 0 e r_i ← 0 ∀ i = 1,...,γ   s ← solução inicial    s* ← s   T ← T_0
3.  ENQUANTO T > T_C FAÇA
4.     ENQUANTO iter < SA_max FAÇA
5.         iter ← iter + 1          s' ← N(s)       Δ ← f(s') - f(s);
6.         SE Δ < 0 ENTÃO
7.            s ← s'
8.            SE (f(s') < f(s*)) ENTÃO   s* ← s';  FIM-SE;
9.         SENÃO
10.           Com probabilidade e^(-Δ/T) s ← s'
11.        FIM-SE
12.    FIM-ENQUANTO
13.    T ← αT     i ← arg min_{i∈{1,...,γ}} {H_i}     v_i ← v_i + 1       c_i ← melhor(s,c_i)
14.    SE v_i = λ ENTÃO
15.        v_i ← 1     s ← busca local(c_i)
16.        SE f(s) = f(c_i) ENTÃO
17.           r_i ← r_i + 1
18.           SE r_i = r_max ENTÃO
19.              r_i ← 0     c_i ← N(c_i)
20.           FIM-SE
21.        SENÃO
22.           r_i ← 0
23.        FIM-SE
24.    FIM-SE
25.    s* ← min(s*,c_i)
26. FIM-ENQUANTO
27. Retornar s*
```

Figura 18 - Pseudocódigo da CS.
Fonte: Adaptado de Araújo (2014).

Uma meta-heurística geradora de soluções, um processo de agrupamento e uma heurística de busca local são os principais componentes da CS, apresentados a seguir.

3.6.1. Principais componentes da CS

3.6.1.1. Geradora de soluções

A cada iteração da CS, uma solução *S* é gerada por uma meta-heurística qualquer e posteriormente enviada para o processo de agrupamento. Neste trabalho, a geração de soluções para a CS foi realizada pela meta-heurística SA, descrita na seção anterior.

3.6.1.2. Processo de agrupamento

O procedimento de agrupamento compreende a alocação de soluções similares aos *clusters*. Após serem gerados γ *clusters*, uma solução *s*, concebida por meio da geradora de soluções, será atribuída ao *cluster i* mais similar.

A verificação da similaridade entre uma solução *s* e um *cluster i* ocorre por meio da distância de Hamming (HAMMING, 1950), que é calculada utilizando o número de desigualdades encontradas entre uma solução *s* e o centro de um *cluster*. Conforme descrito na Figura 19, são apresentadas duas soluções para a sala 1, e o cálculo é realizado verificando quantas vezes ocorreu alguma diferença entre as soluções. A cor laranja indica as ofertas similares entre as duas soluções, e a cor verde representa as ofertas diferentes. O processo é aplicado para todas as salas, e assim é definida a distância de Hamming entre duas soluções ($d_{\text{Ham}}(s_1,s_2)$).

Sala 1					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	-1	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	-1	-1	-1	-1	-1
09h00 – 10h00	-1	-1	-1	-1	-1
10h00 – 11h00	19	-1	-1	18	-1
11h00 – 12h00	19	-1	-1	18	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	14	-1	17	20
14h30 – 15h30	-1	14	-1	17	20
15h30 – 16h30	-1	15	16	-1	-1
16h30 – 17h30	-1	15	16	-1	-1
17h30 – 18h20	-1	15	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	9	10	-1	13	12
19h10 – 20h00	9	10	-1	13	12
20h00 – 20h50	-1	8	11	13	-1
21h00 – 21h50	-1	8	11	13	-1
21h50 – 22h40	-1	-1	-1	-1	-1

Solução s_1 (Centro do Cluster)

Sala 1					
	S	T	Q	Q	S
07h00 – 08h00	-1	-1	-1	-1	-1
08h00 – 09h00	-1	-1	-1	-1	-1
09h00 – 10h00	-1	-1	-1	-1	-1
10h00 – 11h00	-1	19	-1	20	-1
11h00 – 12h00	-1	19	-1	20	-1
12h00 – 13h30	-2	-2	-2	-2	-2
13h30 – 14h30	-1	14	-1	17	18
14h30 – 15h30	-1	14	-1	17	18
15h30 – 16h30	-1	15	16	-1	-1
16h30 – 17h30	-1	15	16	-1	-1
17h30 – 18h20	-1	15	-1	-1	-1
18h20 – 19h10	8	10	-1	13	12
19h10 – 20h00	8	10	-1	13	12
20h00 – 20h50	-1	9	11	13	-1
21h00 – 21h50	-1	9	11	13	-1
21h50 – 22h40	-1	-1	-1	-1	-1

Solução s_2 (Nova Solução)

$d_{\text{Ham}}(s_1,s_2) = 12$

Figura 19 - Exemplo de cálculo da distância de Hamming.

Se a solução s representar uma solução melhor comparada ao centro do *cluster* c_i, essa passará a ser o novo centro do *cluster*.

Após uma solução ser agrupada em um *cluster*, é realizada uma análise desse *cluster*, verificando se o volume v_i atingiu o limite λ. Caso isso ocorra, o *cluster* é considerado uma região promissora, demonstrando que a mesma deve ser melhor explorada por uma heurística de busca local. Por fim, o índice de ineficácia r_i é analisado, ou seja, se $r_i < r_{max}$, é executada uma heurística de busca local ao centro do *cluster*. No entanto, uma perturbação é aplicada no centro do *cluster* caso a busca local seja utilizada mais de r_{max} vezes consecutivas sem obter uma melhora. Neste trabalho, a perturbação é realizada por meio de uma aplicação do movimento 2 Seção 3.5.3.

3.6.1.3. Busca local

Neste trabalho, foi utilizado o método de busca local “primeira melhora” (HANSEN; MLADENOVIC, 2006). O algoritmo de primeira melhora realiza uma busca por toda a vizinhança e, ao encontrar uma melhor solução, a aceita e interrompe sua busca, retornando ao início do processo de busca com a nova solução. O algoritmo é

encerrado quando não encontra nenhuma solução melhor. Vale ressaltar que apenas no pior caso será explorada toda a vizinhança.

A busca local é realizada diversas vezes durante a execução da CS. Porém, no caso específico do PPHDU tratado neste trabalho, tem-se um problema de tamanho relativamente grande, contendo 834 ofertas, 15 horários por dia, 77 salas, 119 turmas e 235 professores. Assim, viu-se a necessidade de interromper a busca local após encontrar a primeira melhor solução, pois o tempo computacional necessário para executar a busca local até que nenhuma outra solução melhor fosse encontrada se tornou proibitivo (aproximadamente 1 hora para cada execução).

Para melhorar o desempenho da busca local e evitar percorrer todos horários em todos os dias e em todas as salas, realiza-se sempre a verificação do tipo da sala e da capacidade. Então, antes de percorrer todos os dias e horários, verifica-se se o tipo da nova sala é incompatível quando comparada com o tipo da sala da oferta movimentada, ou se a capacidade da nova sala é inferior ao número de alunos da turma. Nesses casos, o processo é repetido considerando outra sala.

3.7. RESOLUÇÃO DO PPHDU EM ETAPAS

Testes preliminares apontaram que a CS não foi capaz de obter uma solução viável para a instância completa do problema (todas as soluções obtidas violavam pelo menos uma das restrições fortes descritas no Capítulo 1) relativo ao CCA-UFES, mesmo após 10 horas de execução, conforme Tabela 9 (Capítulo 4). Assim, após uma análise minuciosa dos resultados, percebeu-se uma maior complexidade na montagem dos horários para os cursos ofertados no período noturno, os quais, em sua maioria, utilizavam todos os horários disponíveis na semana e apresentavam diversas disciplinas divididas em mais de uma turma, que deveriam ser ofertadas no mesmo dia e horário. Tal fato resultou em uma baixa (ou nenhuma) flexibilidade para a montagem dos horários.

Então, visando à obtenção de soluções viáveis para o PPHDU relativo ao CCA-UFES, a resolução do problema foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, a meta-heurística SA é aplicada com o intuito de obter uma solução viável para os cursos ofertados no período noturno. Nessa etapa, os cursos ofertados no período diurno são desconsiderados. A segunda etapa utiliza a solução encontrada pela SA

para os cursos do período noturno de forma integrada com uma solução aleatória para os cursos ofertados no período diurno. A partir dessa solução, a CS é então utilizada com o intuito de melhorar a solução final, otimizando apenas as ofertas do período diurno, ou seja, a solução obtida na primeira etapa para as ofertas do período noturno não são alteradas.

No próximo capítulo, são apresentados os resultados obtidos e, por uma questão de organização, a aplicação da CS ao problema geral (cursos dos períodos diurno e noturno) será tratada com “resolução em uma etapa”, e a CS para resolver o problema a partir da solução gerada pela SA para os cursos noturnos será considerada como “resolução em duas etapas”.

4. RESULTADOS OBTIDOS

O desempenho do método proposto foi avaliado por meio da resolução do PPHDU do CCA-UFES considerando as disciplinas ofertadas no segundo semestre do ano de 2014 (período letivo 2014/2). Após as considerações apresentadas na Seção 3.3, o problema final apresentou 834 ofertas para 119 turmas e 235 professores, a serem alocadas em 15 horários diários em 77 salas.

As penalizações utilizadas na função objetivo descrita na Seção 3.4 foram definidas de forma empírica, por meio de diversos testes. Observou-se que a CS se comportou melhor quando os valores das penalizações das restrições do tipo forte (ω_1 a ω_7) foram ajustados com um valor alto, para as penalizações das restrições do tipo fraco (ω_8 a ω_{15}) os valores foram ajustados de acordo com o conceito de qual restrição é mais importante a fim de evitar sua ocorrência. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Penalizações utilizadas na função objetivo.

Penalização	Valor	Penalização	Valor
ω_1	5000	ω_9	5
ω_2	5000	ω_{10}	20
ω_3	5000	ω_{11}	60
ω_4	5000	ω_{12}	15
ω_5	5000	ω_{13}	1
ω_6	5000	ω_{14}	1
ω_7	5000	ω_{15}	50
ω_8	10		

Os parâmetros utilizados para as meta-heurísticas SA e CS são descritos na Tabela 8. Destaca-se que a CS obteve melhores resultados quando sua temperatura inicial (T_0) foi definida com um valor maior e a sua quantidade de iterações máximas (SA_{MAX}) foi definida com um valor menor, além de um comportamento melhor com uma quantidade máxima de 5 clusters (γ) e um volume (λ) máximo de 7 soluções.

Tabela 8 - Parâmetros utilizados na SA e na CS.

SA		CS	
Parâmetro	**Valor**	**Parâmetro**	**Valor**
SA_{MAX}	5000	SA_{MAX}	1000
T_0	5000	T_0	20000
T_C	0,001	T_C	0,001
α	0,995	α	0,995

	γ	5
	λ	7
	r_{max}	3

Inicialmente, a CS foi aplicada ao PPHDU do CCA-UFES para resolução em uma etapa (conforme descrito na Seção 3.7). A CS foi executada 5 vezes considerando um tempo máximo de processamento de 10 horas cada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9, na qual as colunas S1 a S5 indicam as cinco soluções obtidas pelo algoritmo. A linha divisória no meio da tabela separa as restrições fortes (1 a 7) das restrições fracas (8 a 16). O Tempo total de execução é medido em segundos, e os valores das restrições indicam a quantidade de vezes que ocorreram violações em cada restrição.

Tabela 9 - Resultados obtidos pela resolução em uma etapa.

Restrições	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**Média**	**Desvio padrão**
CP_p	0	0	0	0	**1**	0,2	0,45
CT_t	**2**	**1**	**4**	**1**	**2**	2	1,22
CS_s	0	0	0	0	0	0	0
VS_s	0	0	0	0	0	0	0
TSI	0	**1**	0	**1**	**1**	0,6	0,55
$D3H$	0	0	0	0	0	0	0
FTO	**1**	**1**	**2**	**6**	**5**	3	2,35
IT_p	82	81	77	87	70	79,4	6,35
JH_t	205	193	202	207	208	203	6,04
PP_t	57	51	56	60	68	58,4	6,27
AS_d	2	0	5	1	0	1,6	2,07
ND_p	0	0	0	0	0	0	0
ASD	0	0	0	0	0	0	0
ADU	0	0	0	0	0	0	0
DHP	4	7	5	6	5	5,4	1,14
Valor da F.O.	18305	**18145**	33450	43465	38350	30343,00	11615,26
Tempo Melhor (s)	29432	31622	30708	35900	32702	32072,80	2453,73
Tempo Total (s)	36051	36016	36000	36098	36005	36034,00	40,94

Observa-se na Tabela 9 que a melhor solução obtida entre as cinco execuções foi a solução S2, com o valor da função objetivo em 18145 e obtida em 8 horas, 47 minutos e 2 segundos (31622), com a ocorrência de três violações do tipo forte, sendo elas: conflito de turma, tipo incompatível de sala e fora do turno da oferta. Nota-se que em todas as soluções geradas ocorrem violações do tipo forte, tornando-as inviáveis.

Considerando a resolução em duas etapas (conforme descrito na Seção 3.7), foram executados dez testes, sendo 5 testes utilizando a SA e a CS com um tempo máximo de processamento de 5 horas cada e 5 testes com um limite de tempo de 10 horas cada. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Resultados obtidos pela resolução em duas etapas – 5 horas.

Restrições	S1	S2	S3	S4	S5	Média	Desvio padrão
CP_p	0	0	0	0	0	0	0
CT_t	0	0	0	0	0	0	0
CS_s	0	0	0	0	0	0	0
VS_s	0	0	0	0	0	0	0
TSI	0	0	0	0	0	0	0
$D3H$	0	0	0	0	0	0	0
FTO	0	0	0	0	0	0	0
IT_p	66	68	74	69	66	68,6	3,29
JH_t	203	206	195	202	201	201,4	1,95
PP_t	59	53	51	63	57	56,6	4,77
AS_d	1	4	4	4	0	2,6	1,95
ND_p	0	0	2	0	1	0,6	0,89
ASD	0	0	0	0	0	0	0
ADU	0	0	0	0	0	0	0
DHP	2	5	3	5	5	4	1,41
Valor da F.O.	**3015**	3260	3155	3450	3070	3190,00	172,30
Tempo Melhor (s)	12459	10652	11955	11456	12274	11759,20	726,45
Tempo Total (s)	18032	18000	18015	18001	18000	18009,60	14,05

Após as execuções dos testes com o tempo máximo de 5 horas para a resolução em duas etapas, destaca-se que a solução S1 foi a que obteve o melhor resultado, com função objetivo de 3015 obtida em um tempo de 3 horas e 27 minutos e 39 segundos. Conforme indica a Tabela 10, em nenhuma das cinco soluções obtidas ocorreram violações do tipo forte, ou seja, o método foi capaz de gerar soluções viáveis.

A Tabela 11 indica os resultados obtidos a partir da resolução em duas etapas com um tempo máximo de 10 horas. É possível observar que a solução 3 obteve o melhor resultado com o valor da função objetivo de 3015. Essa solução foi obtida em 8 horas e 31 minutos e 26 segundos. Em todas as cinco execuções foram encontradas soluções viáveis, ou seja, sem violações nas restrições do tipo forte.

Tabela 11 - Resultados obtidos pela resolução em duas etapas – 10 horas.

Restrições	S1	S2	S3	S4	S5	Média	Desvio padrão
CP_p	0	0	0	0	0	0	0
CT_t	0	0	0	0	0	0	0
CS_s	0	0	0	0	0	0	0
VS_s	0	0	0	0	0	0	0
TSI	0	0	0	0	0	0	0
$D3H$	0	0	0	0	0	0	0
FTO	0	0	0	0	0	0	0
IT_p	66	71	75	69	64	69	4,3
JH_t	198	196	209	207	209	203,8	6,3
PP_t	63	54	56	55	55	56,6	3,65
AS_d	8	4	0	0	4	3,2	3,35
ND_p	1	0	0	1	0	0,4	0,55
ASD	0	0	0	0	0	0	0
ADU	0	0	0	0	0	0	0
DHP	3	4	2	8	8	5	2,83
Valor da F.O.	3555	3210	**3015**	3240	3425	3289,00	207,95
Tempo Melhor (s)	12150	10316	30686	28743	28640	22107,00	9981,05
Tempo Total (s)	36003	36002	36013	36025	36008	36010,20	9,36

A Tabela 12 apresenta um comparativo entre as melhores soluções descritas nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 12 - Comparativo entre as melhores soluções obtidas.

Restrições	Método – Uma etapa Tempo – 10 horas	Método – Duas etapas Tempo – 5 horas	Método - Duas etapas Tempo – 10 horas
CP_p	0	0	0
CT_t	1	0	0
CS_s	0	0	0
VS_s	0	0	0
TSI	1	0	0
$D3H$	0	0	0
FTO	1	0	0
IT_p	81	66	75
JH_t	193	203	209
PP_t	51	59	56
AS_d	0	1	0
ND_p	0	0	0
ASD	0	0	0
ADU	0	0	0
DHP	7	2	2
Valor da F.O.	18145	3015	3015
Tempo Melhor (s)	31622	12459	30686
Tempo Total (s)	36016	18032	36013

Destaca-se na Tabela 12 que a melhor solução para o método em duas etapas foi similar (com função objetivo igual a 3015) tanto com 5 quanto com 10 horas de processamento. Ou seja, pode-se afirmar que com um tempo máximo de 5 horas é possível chegar a soluções viáveis com um bom valor da função objetivo. É importante observar que as duas soluções obtidas são diferentes (a quantidade de violações nas restrições fracas), porém ambas possuem o mesmo “custo”, ou seja, com os pesos utilizados (Tabela 7), eles representam soluções “similares” em termos de qualidade.

Dentre os testes realizados, é possível observar que a resolução em duas etapas sempre encontrou uma solução viável para o problema, ou seja, não apresentou violações nas restrições do tipo forte. Já a resolução em uma etapa não foi capaz de gerar soluções viáveis em nenhum dos 5 testes, ou seja, sempre apresentou violações nas restrições do tipo forte.

Inicialmente, pretendia-se comparar os resultados obtidos com a solução gerada de forma manual para o CCA-UFES. Porém, em virtude de dados faltantes e das considerações realizadas com o intuito de tornar o problema “solucionável” (conforme descrito na Seção 3.3), essa comparação se tornou inviável.

Muitas vezes uma oferta para um curso estava alocada em duas ou mais salas diferentes, ou a grade de horário da sala estava desatualizada, faltando diversas disciplinas, etc. As grades dos horários das salas de aulas disponibilizadas para a realização deste trabalho estavam incompletas, faltando as grades de algumas salas, como, por exemplo, dos laboratórios de informática do departamento de computação, dos laboratórios de farmácia, engenharia química, algumas salas de aula, entre outros.

Todos os experimentos foram realizados em um computador com processador i7-3610QM 2.30GHz, com 6GB de memória RAM utilizando o sistema operacional Windows 7 Home Premium 64 bits. A CS e a SA foram implementadas na linguagem de programação C++.

5. CONCLUSÕES

O foco deste trabalho foi a resolução do Problema de Programação de Horários de Disciplinas em Universidades (PPHDU), tendo em vista as ofertas de todo o Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Para solucionar o problema, a meta-heurística híbrida *Clustering Search* foi proposta, tendo a meta-heurística *Simulated Annealing* como geradora de soluções.

Atualmente, a tarefa de confeccionar o quadro de horários para o CCA-UFES envolve os 17 coordenadores de cursos, com um tempo médio de uma semana para que todos os horários sejam definidos, o que é feito de forma manual. Assim, pretendia-se que este trabalho apresentasse uma alternativa automatizada para o processo da geração de horários.

Para isso, foi utilizada a meta-heurística híbrida *Clustering Search*, que foi capaz de gerar soluções viáveis para o problema, porém, considerando diversas “adaptações” do problema real. Apesar de não ser possível comparar a solução obtida pela CS com a solução obtida de forma manual, foi possível notar o potencial do método proposto, incluindo tanto a CS quanto a modelagem do problema como um todo.

Destaca-se a ocorrência de falhas humanas na confecção do quadro de horários de forma manual, como, por exemplo, aulas alocadas em mais de uma sala de aula em um mesmo intervalo de tempo, causando a sensação de falta de salas. Tais falhas podem ser evitadas com a utilização deste trabalho, além de reduzir o tempo necessário para a confecção dos quadros de horários e os recursos humanos necessários.

Como trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de outras metas-heurísticas para a elaboração do quadro de horários, além do teste da meta-heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) proposta por Mariano (2014) com a instância gerada neste trabalho, com o intuito de fazer uma comparação de desempenho.

Por fim, sugere-se também o desenvolvimento de um *software* com *interface* gráfica para que servidores do CCA-UFES possam usufruir de uma ferramenta de apoio na confecção dos horários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMSON, D. Constructing school timetables using simulated annealing: sequential and parallel algorithms. *Management Science*, v. 37, p. 98-113, 1991.

ARAÚJO, L. D. *Clustering search para resolução do problema de rotação de culturas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

BARBOSA, S. H. D; SOUZA, S. R. Resolução do problema de programação de cursos universitários baseada em currículos via uma meta-heurística híbrida GRASP-ILS-relaxado. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 43, 2011, Ubatuba. Anais... SBPO, 2011.

CARVALHO, R. *Abordagem heurística para o problema de programação de horários de cursos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CHAVES, A. A. *Uma meta-heurística híbrida com busca por agrupamentos aplicada a problemas de otimização combinatória*. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

CHAVES, A. A.; LORENA, L. A. N. Clustering search algorithm for the capacitated centered clustering problem. *Computers & Operations Research*, v. 37, p. 552-558, 2010.

COLORNI, A.; DORIGO, M.; MANIEZZO, V. Metaheuristics for high school timetabling. *Computational Optimization and Applications*, v. 9, p. 275-298, 1998.

CSIMA, J.; GOTLIEB, C. C. Tests on a computer method for construction of school timetables. *Communications of the ACM*, New York, v. 7, p.160-163, mar. 1964.

FONSECA, G. H. G; RIBEIRO, R. G; MARTINS, F. V. C. Uma abordagem híbrida de SAT e busca tabu para o problema da programação de horários escolares. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 43, 2011, Ubatuba. Anais... SBPO, 2011.

FONSECA, G. H. G.; SANTOS G. H. Memetic algorithms to the high school timetabling problem. In: *Evolutionary Computacion*, Cancun: CEC, 2013.

HAMMING, R. W. Error detecting and error correcting codes. *Bell System Technical Journal*, v. 26, p. 147-160, 1950.

HANSEN, P.; MLADENOVIC, N. *First vs. best improvement: an empirical study. Discrete Applied Mathematics*, v. 154, p. 802-817, 2006.

KIRKPATRICK, S.; GELATT, C.; VECCHI, M. Optimization by simulated annealing. *Science*, v. 220, n. 4598, p. 498-516, 1983.

MARIANO, G. P. *Resolução do problema de programação de horários de disciplinas do CCA-UFES utilizando a meta-heurística ALNS*. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

MAURI, G. R. Novas heurísticas para o problema de escalonamento de tripulações. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2005.

OLIVEIRA, A. C. M; LORENA, L. A. N. Detecting promising areas by evolutionary clustering search. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, v. 3171, p. 385-394, 2004.

_____. Hybrid evolutionary algorithms and clustering search. *Hybrid Evolutionary Algorithms - Studies in Computational Intelligence*, v. 75, p. 77-99, 2007.

OLIVEIRA, G. J.; VIANNA, S. D.; VIANNA, D. F. M. Uma heurística grasp+vnd para o problema de programação de horário escolar. *Sistemas e Gestão,* v. 7, p. 326-335, 2012.

PREIS, A. T. *Protótipo gerador de grades horárias para instituições de ensino*. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2007.

SANTOS, H. G.; SOUZA, M. J. F. Programação de horários em instituições educacionais: formulações e algoritmos. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 39, 2007, Fortaleza. Anais... SBPO, 2007.

SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, v.13, p. 87-127, 1999.

SPINDLER, M. *Uma proposta de solução para problemas de horário educacional utilizando busca dispersa e reconexão por caminhos.* Dissertação (Mestrado em

Computação Aplicada) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

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

TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional*. 8ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 359 p.