



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IORRANE NOBRE DE HOLANDA

**UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS APLICADO À
UFERSA - PAU DOS FERROS**

PAU DOS FERROS – RN

2018

IORRANE NOBRE DE HOLANDA

**UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS
APLICADO À UFERSA - PAU DOS FERROS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido - UFERSA
Campus Pau dos Ferros como
requisito para obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Helder Fernando de
Araujo Oliveira

PAU DOS FERROS – RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

H734e Holanda, Iorrane Nobre de.
UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE
SALAS APLICADO À UFERSA - PAU DOS FERROS / Iorrane
Nobre de Holanda. - 2018.
41 f. : il.

Orientador: Helder Fernando de Araujo Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Problema de alocação de salas. 2. Meta-
heurísticas. I. Oliveira, Helder Fernando de
Araujo, orient. II. Título.

IORRANE NOBRE DE HOLANDA

**UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS APLICADO À
UFERSA - PAU DOS FERROS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido - UFERSA *Campus* Pau
dos Ferros como requisito para obtenção
do título de Bacharela em Ciência e
Tecnologia.

Defendido em: 12 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Helder Fernando de Araujo Oliveira
Helder Fernando de Araujo Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA/CMPF)
Presidente

Álvaro Alvares de Carvalho César Sobrinho
Álvaro Alvares de Carvalho César Sobrinho, Prof. Dr. (UFERSA/CMPF)
Membro Examinador

Lenardo Chaves e Silva
Lenardo Chaves e Silva, Prof. Dr. (UFERSA/CMPF)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, por todo amor e compreensão que tiveram comigo, amo vocês.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram, principalmente aqueles que estão distantes buscando seus sonhos, vocês são incríveis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Helder Fernando de Araujo Oliveira, por me aceitar como orientanda, por sua paciência, incentivo e pelo conhecimento transmitido constantemente.

Aos demais professores e colegas da UFERSA que contribuíram e apoiaram meu desenvolvimento nesta caminhada.

RESUMO

Semestralmente as instituições de ensino superior passam pelo mesmo problema: o de alocar disciplinas às salas de aula respeitando determinadas restrições. Esse problema é conhecido como *Classroom Assignment Problem* ou Problema de Alocação de Salas, que consiste na alocação de disciplinas, com horários previamente estabelecidos, às salas de aula. Normalmente este processo é resolvido pelas instituições manualmente, o que geralmente requer muito tempo para ser concluído e muitas vezes não garante a alocação eficiente dos espaços. Tal situação é a enfrentada pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA que, devido à crescente demanda, necessita se adaptar para alocar eficientemente os espaços disponíveis. No total, a UFERSA possui 260 turmas no período de 2018.1 alocadas em 37 salas, com capacidade variando entre 20 e 80 alunos. Desse modo, o objetivo com este trabalho é realizar um estudo sobre o CAP para compreender, buscar e avaliar, dentre algumas meta-heurísticas existentes, qual(is) delas poderia(m) ser aplicada(s) ao problema de alocação de salas da UFERSA Campus Pau dos Ferros, o qual atualmente é solucionado de maneira manual. O estudo realizado mostrou que o melhor método de resolução do problema é uma técnica híbrida envolvendo os melhores aspectos das meta-heurísticas Recozimento Simulado e Busca Tabu.

Palavras-chave: Problema de alocação de salas. Meta-heurísticas. Otimização.

ABSTRACT

Every six months, higher education institutions face the same problem: that of allocating disciplines to classrooms while respecting certain restrictions. This problem is known as the Classroom Assignment Problem, which consists of allocating pre-arranged classes to classrooms. Usually this process is solved by institutions manually which usually takes a lot of time to complete and often do not guarantee the efficient allocation of spaces. Such situation is that faced by the Federal Rural University of the Semi-Arid, which due to the increasing demand needs to adapt to allocate efficiently the available spaces. In total UFERSA has 260 classes in this period of 2018.1 allocated in 37 rooms, with a capacity ranging from 20 to 80 students. Thus, the objective with this work is to carry out a study on CAP to understand, to search and to evaluate, among some existing meta-heuristics, which one (s) could be applied to the classroom assignment problem of UFERSA Campus Pau dos Ferros, which is currently carried out manually. The systematic review showed that the best method to solve the problem is a hybrid technique involving the best aspects of the simulated Annealing and Tabu Search metaheuristics.

Keywords: Classroom Assignment Problem. Metaheuristics. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Processo manual de alocação de salas.....	25
------------	---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bases de dados e descritores.....	14
Quadro 2 - Distribuição dos horários de aula.....	24
Quadro 3 - Resumo dos principais estudos abordados.....	32
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens de cada método.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACO - *Ant Colony Optimization*

AED - Algoritmo de Estimação de Distribuição

AG - Algoritmo Genético

AGC - Algoritmo Genético Compacto

CAP – *Classroom Assignment Problem*

CLP - *Constraint Logic Programming*

CT - Centro de Tecnologia

DCEN - Departamento de Ciências Exatas e Naturais

DCSAH - Departamento de Ciências Sociais Aplicadas e Humanas

DETEC - Departamento de Engenharias e Tecnologia

GRASP - *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

ICEB - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas

ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

ILS - *Iterated Local Search*

ITESM - Instituto Tecnológico e de Estudos Superiores de Monterrey

PLI - Programação Linear Inteira

PPH - Problemas de Programação de Horários

SA - *Simulated Annealing*

SIGAA - Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas

TS – *Tabu Search*

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFSM - Universidade Federal de Santa Maria

UPF - Universidade de Passo Fundo

USP - Universidade de São Paulo

VND - *Variable Neighborhood Descent*

VNS - *Variable Neighborhood Search*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.2 METODOLOGIA	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS.....	15
2.2 OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA	16
2.2.1 VIZINHANÇA	16
2.3 HEURÍSTICA	17
2.3.1 HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS.....	17
2.3.2 HEURÍSTICAS DE REFINAMENTO.....	18
2.4 META-HEURÍSTICA	19
2.5 META-HEURÍSTICAS CLÁSSICAS	19
2.5.1 META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM BUSCA LOCAL	19
2.5.2 META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM BUSCA POPULACIONAL	22
3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	24
3.1 HISTÓRICO UFERSA – PAU DOS FERROS	24
3.2 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS NA UFERSA – PAU DOS FERROS 25	
3.3 ESCOPO DO CAP NA UFERSA: PROBLEMA E REQUISITOS.....	26
4. TRABALHOS RELACIONADOS	27
4.1 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7. REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A cada semestre, diversas instituições de ensino superior precisam alocar as turmas em salas de aula, sempre levando em consideração uma série de restrições de viabilidade que cada instituição possui, como, por exemplo, não exceder a capacidade de uma sala de aula.

O problema de alocação de salas consiste na alocação de disciplinas, com horários previamente definidos, em salas de aula. No entanto, esse é um problema de otimização combinatória pertencente à classe NP-Difícil (EVEN; ITAI; SHAMIR, 1976) cujo o tempo computacional gasto pelo melhor algoritmo para a verificação é polinomial. Para tanto, diversas técnicas vem sendo utilizadas para solucionar o problema de alocação de salas, dentre elas as meta-heurísticas como o *Simulated Annealing* (SA), *Tabu Search* (TS) e os modelos matemáticos.

Costumeiramente, as instituições encontram dificuldades em executar tal tarefa, dada sua complexidade, dificultando uma solução manual. A solução manual dessa tarefa dificilmente satisfaz todas as restrições. O número de possíveis combinações para a alocação é alto, fazendo com que funcionários desperdicem seu tempo em uma atividade a qual poderia ser automatizada.

O problema de alocação de salas ou *Classroom Assignment Problem* (CAP), é caracterizado pela distribuição de aulas cujo horário foi previamente definido e restringido por singularidades relativas ao espaço físico e disponibilidade de recursos (SCHAERF, 1999).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral com este trabalho é realizar um estudo para compreender, buscar e avaliar, dentre algumas meta-heurísticas existentes, qual(is) delas poderia(m) ser aplicada(s) ao problema de alocação de salas da UFERSA Campus Pau dos Ferros, o qual é realizado de maneira manual.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos com esse trabalho são:

- Identificar soluções meta-heurísticas existentes para resolução do problema de alocação de salas;
- Identificar os critérios adotados pela UFERSA Campus Pau dos Ferros para o problema de alocação de salas;
- Identificar quais meta-heurísticas, dentre as estudadas, podem ser utilizadas para o problema de alocação de salas da UFERSA campus Pau dos Ferros;

1.2 METODOLOGIA

O estudo das conceitos e trabalhos relacionados ao CAP foi efetuado por meio de estudo referente ao tema com o intuito de aperfeiçoar o entendimento sobre o assunto em suas particularidades e avaliar quais os métodos de solução existentes melhor se aplicam ao contexto da UFERSA Campus Pau dos Ferros. Para a elaboração deste trabalho optou-se por estudar o caso da UFERSA Campus Pau dos Ferros, com a intenção de desenhar o problema real vivenciado pela instituição e associá-lo aos conceitos existentes do CAP e suas possíveis soluções.

No Quadro 1 são apresentadas as bases de dados utilizados para realizar a busca das definições e os trabalhos relativos ao CAP.

Quadro 1 – Bases de dados e descritores.

Base de dados	Características Gerais	Disponível em
ACM Digital Library	Repositório de documentos em texto integral nas áreas de computação e tecnologia. Tipos de documentos disponíveis: revistas científicas, anais de conferências, congressos com artigos de pesquisas.	https://dl.acm.org/
Portal de Periódicos CAPES	Biblioteca virtual que reúne e disponibiliza a instituições de ensino e pesquisa no Brasil produções científicas internacionais.	https://www.periodicos.capes.gov.br/
IEEE Xplore Digital Library	Banco de dados de pesquisa para descoberta e acesso a artigos de periódicos, anais de congressos, normas técnicas e materiais relacionados a computação e tecnologia.	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
Biblioteca – Campus Pau dos Ferros	Biblioteca multidisciplinar.	Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Pau dos Ferros

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção apresenta a fundamentação teórica do Problema de Alocação de Salas e temas relacionados à sua solução. Tem-se como finalidade arquitetar uma base conceitual sobre o CAP, otimização combinatória e técnicas para solução dessa classe de problemas.

2.1 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS

O problema de alocação de salas, ou *Classroom Assignment Problem* (CAP), é um problema de organização acadêmica e compreende em atribuir aulas de diferentes disciplinas, com horários de início e fim pré-determinados, às salas, levando-se em consideração várias restrições existentes. Em muitos casos, o problema de alocação de salas é resolvido manualmente, podendo levar alguns dias onde muitas vezes a solução encontrada não é aceitável (SCHAERF, 1999).

Subramanian et al. (2006) distingue as restrições existentes à duas classes: as restrições do problema e os requisitos de qualidade da solução. As restrições do problema quando não cumpridas tem caráter impeditivo, ou seja, torna a alocação inviável. As restrições de qualidade da solução não possuem caráter impeditivo, ou seja, o não atendimento de algum requisito de qualidade não comprometerá a alocação das salas de aula.

Schaerf (1999) classifica os Problemas de Programação de Horários (PPH) ou *timetabling* em três categorias: *school timetabling*, *course timetabling* e *examination timetabling*, onde o CAP é uma subcategoria da classe *course timetabling*.

Na classe *school timetabling* entende-se problemas de programação semanal de horários dos professores ou turmas onde o aluno cursa um número fixo de disciplinas. Nesse caso, além da programação de horários, deve-se evitar choques de horário das disciplinas ofertadas e também deve-se levar em consideração que um professor receba apenas uma turma em um horário estabelecido, evitando choque de horários dos professores.

Na categoria *course timetabling* entende-se problemas da programação semanal de horários de cursos universitários, de todos os períodos, onde deve-se evitar choques entre professor/turma/horário. Difere-se do *school timetabling* pois o aluno pode escolher quantas disciplinas cursar (SCHAERF, 1999).

O *examination timetabling* compreende os problemas de programação de exames de cursos universitários onde o objetivo é distanciar as datas dos exames assim como não sobrepor as datas de exames de disciplinas que tenham alunos em comum.

O CAP é pertencente a subcategoria *university course timetabling* que, por sua vez, pertence a categoria *course timetabling* (SCHAERF, 1999). O CAP é mencionado na literatura como problema do tipo NP-Difícil, cujo alcance de uma solução ótima, em um tempo computacional considerável, não é uma tarefa fácil, onde, no pior dos casos, o tempo computacional é exponencial (EVEN; ITAI; SHAMIR, 1976) e hoje vem sendo resolvido computacionalmente através das técnicas denominadas heurísticas e meta-heurísticas.

2.2 OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Otimização combinatória é a área da Ciência da Computação e da Matemática que estuda os problemas de otimização em conjunto, geralmente dentro de um determinado tempo. Os conjuntos retratam a união de itens que só podem ser selecionados por meio de uma série de restrições (regras), formando subconjuntos, esses subconjuntos formados são chamados de possíveis soluções e estas possíveis soluções estão associados a um custo. Um problema de otimização é um problema onde temos várias soluções possíveis no qual as soluções podem ser comparadas e avaliadas, realizando a otimização. A otimização pode ser entendida como a busca por um valor ótimo, muitas vezes regida por um conjunto de restrições, para um certo problema (CORDENONSI, 2008).

2.2.1 VIZINHANÇA

Vizinhança de uma solução é o conjunto de todas as soluções possíveis geradas a partir de modificações aplicadas sobre esta solução, modificações estas denominadas movimentos (PRADO, 2014).

2.3 HEURÍSTICA

Um método heurístico é um mecanismo que certamente irá encontrar uma solução viável, mas não obrigatoriamente uma solução ótima, para o problema particular em questão (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). Uma heurística é um mecanismo algorítmico desenvolvido através de um modelo cognitivo, geralmente por meio de regras baseadas na vivência do desenvolvedor. Oposto aos métodos exatos, que procuram alcançar uma forma algorítmica de achar uma solução através da combinação ou busca de todas as possíveis soluções, as heurísticas geralmente tendem a apresentar certo nível de conhecimento sobre o comportamento do problema, gerando um número menor de soluções. Os métodos heurísticos integram estratégias, procedimentos e métodos aproximativos visando encontrar uma boa solução, em um tempo computacional aceitável (CORDENONSI, 2008).

As heurísticas buscam uma boa solução através de modelos intuitivos por meio de tentativa e erro, sem verificação da iminência da solução ótima e garantias (PRADO, 2014).

2.3.1 HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS

As heurísticas construtivas têm como objetivo principal encontrar uma solução inicial para o problema abordado. Sua construção inicia-se de uma solução vazia com o propósito de construir uma solução completa. O método compreende a inserção incremental de elemento por elemento, onde a cada etapa um elemento é inserido na solução parcial do problema, conforme a técnica utilizada e as particularidades do problema (PRADO, 2014).

Nas heurísticas tradicionais, os elementos candidatos são geralmente ordenados segundo uma função gulosa¹, $f(n) = h(n)$, onde $f(n)$ é a função de avaliação e $h(n)$ é o custo estimado do caminho de menor custo. A função gulosa estima o benefício de cada elemento na inserção e somente o melhor candidato é inserido na solução a cada etapa (RUSSELL; NORVIG, 2013).

¹ Função gulosa é aquela em que, a cada decisão, sempre escolhe a alternativa mais promissora naquele momento, nunca reconsiderando uma decisão (PRADO, 2014).

2.3.2 HEURÍSTICAS DE REFINAMENTO

As heurísticas de refinamento consistem em melhorar uma solução a partir da busca iterativa por soluções vizinhas, onde a função de avaliação possua um valor melhor (CAZETTA, 2015).

2.3.2.1 MÉTODO DE DESCIDA

O método de descida compreende avaliar todos os possíveis vizinhos com base uma solução s , deslocando-se sempre para o melhor vizinho, desde que o mesmo apresente alguma melhora. O método conclui quando a solução atual não é mais suscetível à melhora, qualificando a solução final como um ótimo local para a vizinhança analisada (SILVA, 2005).

2.3.2.2 MÉTODO DE DESCIDA RANDÔMICA

Este método caracteriza-se em avaliar um vizinho qualquer de uma solução atual e mover-se para ele se, e somente se, ele representar uma solução melhor que a atual. O método de Descida Randômica é interrompido após um número fixo de iterações sem melhora no valor da solução corrente (SILVA; SOUZA; MOURÃO, 2008).

2.3.2.3 VARIABLE NEIGHBORHOOD DESCENT – VND

O método *Variable Neighborhood Descent* (VND), Descida em Vizinhança, Variável (VND) consiste na exploração do espaço de busca por meio de trocas comedidas da estrutura de vizinhança, sendo o resultado dessa troca é aceito se as soluções alcançadas forem melhores que a solução atual. O método termina quando não forem encontradas nenhuma solução melhor nas vizinhanças exploradas, caracterizando um ótimo local em relação a todas as vizinhanças exploradas (CAZETTA, 2015; PRADO, 2014). Para este método, três princípios empíricos básicos são utilizados:

- Um ótimo global é um ótimo local em relação a todas as possíveis vizinhanças;

- Um ótimo local com relação a uma vizinhança não é obrigatoriamente um ótimo local em relação à outra vizinhança;
- Em muitos problemas, ótimos locais em relação a uma ou mais vizinhanças são um tanto próximos.

2.4 META-HEURÍSTICA

Diferente das heurísticas convencionais, as meta-heurísticas têm caráter geral e são capazes de escapar de ótimos locais (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). Uma meta-heurística é um conjunto de conceitos que pode ser usado para determinar métodos heurísticos aplicáveis a um amplo conjunto de problemas distintos. Ou seja, uma meta-heurística pode ser entendida como uma estrutura algorítmica genérica que pode ser utilizada em diferentes problemas de otimização com poucas alterações que possam ajustá-la a um problema particular (SILVA; SOUZA; MOURÃO, 2008).

2.5 META-HEURÍSTICAS CLÁSSICAS

2.5.1 META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM BUSCA LOCAL

Baseia-se em melhorar uma solução percorrendo a vizinhança dessa solução, utilizando movimentos para explorar o espaço de busca. Os movimentos são aplicados a cada passo em uma solução atual para produzir outra solução em sua vizinhança. Os aspectos de cada vizinhança variam de acordo com o problema abordado (PRADO, 2014).

2.5.1.1 *VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH* – VNS

Esse método consiste em explorar vizinhanças paulatinamente mais distantes da solução atual. Marcado por procurar vizinhos de forma aleatória e só move-se para uma nova solução se houver uma melhora em relação à solução corrente. Originalmente, o método também utiliza do VND para uma busca local na solução corrente (SOUZA et al., 2002).

2.5.1.2 GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE – GRASP

O método GRASP é composto por duas fases, são elas:

- Construção: uma solução é construída a partir de um procedimento guloso qualquer;
- Busca local: um ótimo local da vizinhança da solução construída é buscado.

A primeira fase do GRASP tem o objetivo de compor um conjunto diferenciado de soluções iniciais de boa qualidade para a busca local. Essa finalidade é atingida com o acréscimo da aleatoriedade à fase de construção. O objetivo desta fase é unir as qualidades de uma implementação gulosa com as qualidades de uma implementação aleatória. A melhor solução encontrada é apresentada como resultado (RANGEL; ABREU; NETTO, 2000).

2.5.1.3 ITERATED LOCAL SEARCH – ILS

O ILS é um método com uma técnica exploratória que efetua uma busca local em uma solução inicial até achar um ótimo local. Com base nessa solução, perturbações são feitas com o intuito de reiniciar a busca. A perturbação realizada precisa ser suficientemente considerável para permitir que a busca local explore diferentes soluções e pequena o suficiente para impedir um reinício aleatório (SILVA; SOUZA; MOURÃO, 2008).

2.5.1.4 TABU SEARCH – TS

O *Tabu Search* consiste em permitir a movimentação da solução corrente em direção ao melhor vizinho, sendo essa movimentação independente do fato de este vizinho ser melhor ou não que a solução corrente. Essa admissão de movimentos de piora tem como intuito escapar de ótimos locais, essa estratégia possibilita voltar a uma solução já visitada, ocasionando em um fenômeno conhecido como ciclagem.

Em sua configuração clássica, a cada iteração procura-se um melhor vizinho s' de um subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s , em que s' será

sempre a solução corrente independentemente de $f(s')$ ser melhor que $f(s)$. Uma vez que sempre é possível retornar a uma solução anteriormente gerada, esse mecanismo não é o suficiente para escapar de ótimos locais. Uma lista tabu é usada pelo algoritmo para evitar que isso aconteça. A lista tabu possui um tamanho t e nela contém as últimas soluções visitadas nas últimas T interações sequenciadas na forma FIFO. Essa lista possibilita a proibição de um movimento que retorne a um ponto de mínimo local, a menos que satisfaça um certo critério de aspiração A . Em geral, a solução encontrada deve ser melhor que a solução encontrada até então. Se essa proibição não acontecesse, o algoritmo poderia entrar em *loop* (SOUZA; MARTINS; ARAÚJO, 2002; SUBRAMANIAN et al., 2006).

2.5.1.5 SIMULATED ANNEALING – SA

O *Simulated Annealing*, ou Recozimento Simulado, faz uso de uma estratégia que possibilita evitar a convergência para um mínimo local admitindo também, a partir de um método probabilístico, soluções que possam piorar o valor da função objetivo (KRIPKA; KRIPKA, 2013).

Por exemplo, a têmpera, na metalurgia, consiste no aquecimento do material a altas temperaturas e depois o resfriamento gradual, possibilitando assim que o material atinja um estado cristalino de baixa energia (RUSSELL; NORVIG, 2013). Sendo assim, os estados possíveis de um material equivalem a soluções do espaço de busca. A energia em cada estado equivale ao valor da função objetivo. A energia mínima equivale ao valor de uma solução ótima local, eventualmente global.

Essa técnica parte de uma solução qualquer e a cada iteração um novo vizinho s' da solução s é gerado. A cada geração de um vizinho s' de s é testada a variação Δ do valor da função objetivo, ou seja, $\Delta = f(s') - f(s)$, se $\Delta < 0$ a solução corrente passa a ser s' e se $\Delta \geq 0$ a solução gerada pode ser aceita, dependendo da função de probabilidade $e^{-\Delta/T}$, onde T é um parâmetro denominado temperatura. O parâmetro T regula a probabilidade de aceitação de soluções com custo pior (CASTRO, 2003).

Inicialmente, o parâmetro T assume um valor elevado T_0 e após um certo número de iterações fixo, o qual representa o número de iterações que o sistema levaria para entrar em equilíbrio térmico em uma dada temperatura, a temperatura T

é diminuída sobre um fator de resfriamento α , tal que $T_n \leftarrow \alpha T_{n-1}$, onde $0 < \alpha < 1$. Com esse procedimento as chances de escapar de mínimos locais é maior, à medida que T diminui o algoritmo se comporta como o método de descida, uma vez que a probabilidade de aceitar movimentos de piora cai (CASTRO, 2003; SOUZA; MARTINS; ARAÚJO, 2002).

2.5.2 META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM BUSCA POPULACIONAL

Estes métodos limitam-se em partir de um conjunto de soluções, e aplicar sobre elas um conjunto de operadores com o objetivo de aprimorá-las.

2.5.2.1 ALGORITMOS GENÉTICOS – AG

Consiste em uma analogia com processos naturais de evolução, descrito por Charles Darwin, onde, dada uma população, os indivíduos com características genéticas melhores têm maiores chances de sobrevivência e de produzirem filhos cada vez mais aptos, enquanto indivíduos menos aptos tendem a desaparecer (PRADO, 2014).

Nesse método, cada cromossomo representa um indivíduo e o mesmo geralmente está associado a uma solução do problema e cada gene está associado a uma componente da solução. Uma técnica de reprodução é aplicada sobre a população visando explorar o espaço de busca e encontrar melhores soluções para o problema. Esse mecanismo consiste na aplicação de operadores de mutação e/ou recombinação em cima de dois indivíduos selecionados. A operação de mutação consiste em alterar aleatoriamente parte dos genes de cada cromossomo enquanto que a operação de recombinação compreende na combinação de genes dos cromossomos pais gerando um ou dois cromossomos filhos, onde cada um dos filhos possui um conjunto de genes de cada um dos pais. Geralmente, o método termina quando certo número de populações é produzido ou quando a melhor solução encontrada alcança certo grau de aptidão ou ainda, quando não há melhora após certo número de iterações (SILVA; SOUZA; MOURÃO, 2008).

2.5.2.2 ANT COLONY OPTIMIZATION METAHEURISTIC – ACO

Baseia-se na vida das formigas em suas funções na colônia, ao criar um caminho entre a fonte de comida e o ninho. As formigas buscam, aleatoriamente, por uma fonte de alimento e ao encontrar essa fonte elas retornam à colônia deixando, pelo caminho um rastro de feromônio. Quando outras formigas encontram este rastro, elas tendem a segui-lo depositando também seu feromônio pela trilha. Desse modo, quanto maior o número de formigas que passam pela trilha, mais atrativa ela se torna. No Algoritmo ACO, os movimentos se tornam mais desejáveis quanto maior for o nível de feromônio da trilha a ser escolhida. Procurando diversificar a busca e explorar outros ótimos locais, a escolha dos caminhos é feita de forma probabilística. O método considera, ainda, a aplicação de um fator de evaporação do feromônio em cada caminho (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

3.1 HISTÓRICO UFERSA – PAU DOS FERROS

O problema abordado neste trabalho é caracterizado no contexto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Pau dos Ferros. Atualmente são ofertados seis cursos: Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Bacharelado em Tecnologia da Informação, Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil, Engenharia Ambiental e Sanitária e Engenharia de Computação.

Existem vinte e quatro salas de aulas comuns e treze salas funcionando como laboratórios. As aulas acontecem em três turnos, possibilitando quatorze horários de aula por sala. Estes horários dizem respeito aos períodos de início e fim de cada aula e estão organizados conforme o Quadro 2,

Quadro 2 - Distribuição dos horários de aula.

Manhã	Tarde	Noite
De 07:00 às 07:55	De 13:00 às 13:55	De 18:40 às 19:35
De 07:55 às 08:50	De 13:55 às 14:50	De 19:35 às 20:30
De 08:50 às 09:45	De 14:50 às 15:45	De 20:30 às 21:25
De 09:45 às 10:40	De 15:45 às 16:40	De 21:25 às 22:20
De 10:40 às 11:35	De 16:40 às 17:35	-

Todas as turmas ofertadas têm suas aulas acontecendo entre as centrais de aulas 1 e 2 e os laboratórios. A central de aulas 1 conta com dez salas com capacidade de 55 alunos, já a central de salas 2 conta com dezoito salas com capacidade variando entre 30 e 80 alunos, sendo que quatro, das dezoito salas, funcionam como laboratório. Já o bloco de laboratórios conta com nove laboratórios com capacidade variando entre 20 e 40 alunos.

No total a UFERSA possui 260 turmas neste período de 2018.1 distribuídas entre três departamentos, são eles: o Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC), o Departamento de Ciências Sociais Aplicadas e Humanas (DCSAH) e o Departamento de Ciências Exatas e Naturais (DCEN).

O DETEC conta com 130 turmas, sendo destas, 8 delas em laboratórios. O DCSAH conta com 66 turmas, sendo destas, 9 delas em laboratórios. O DCEN conta

com 64 turmas, sendo destas, 19 delas em laboratórios. Assim são 36 turmas para 13 laboratórios e 224 turmas para 24 salas.

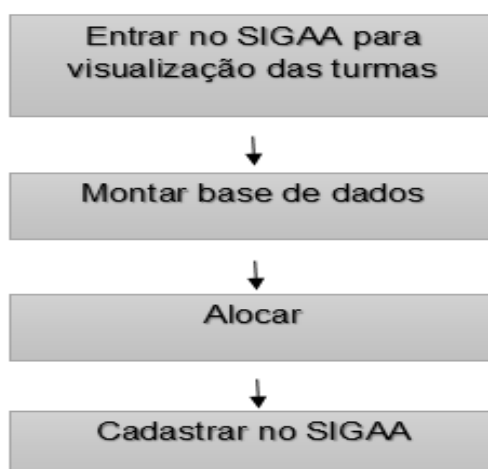
3.2 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS NA UFERSA – PAU DOS FERROS

Atualmente a alocação de salas é realizada duas vezes ao ano, primeiro e segundo semestre, sendo realizada aproximadamente uma semana antes do início das aulas de cada semestre. Esta tarefa está a cargo de um servidor do campus que realiza essa função manualmente preenchendo uma planilha de modo que ao final da tarefa tenha todas as turmas alocadas, essa tarefa leva cerca de três dias para ser finalizada.

Esse processo de alocação inicia-se buscando as turmas ofertadas pelos diversos cursos no SIGAA (Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas) após o período de matrícula dos discentes nas turmas. A oferta de turmas é feita por cada Coordenação de Curso e posteriormente é disponibilizada no SIGAA com seus respectivos horários definidos.

Visto que as turmas ofertadas passam a estar disponíveis no SIGAA a tarefa da montagem de uma base de dados contendo todas as disciplinas, horários, professores e cursos é realizada. A partir da conclusão dessa base de dados inicia-se a alocação das turmas às salas, de acordo com as restrições mencionadas na Seção 3.3. Por fim, quando a tarefa de alocação é concluída, é realizado o cadastro das salas no SIGAA, vinculando cada turma a uma sala de aula. Esse processo de alocação é expresso na Figura 1,

Figura 1 - Processo manual de alocação de salas.



Fonte: A autora, 2018.

3.3 ESCOPO DO CAP NA UFERSA: PROBLEMA E REQUISITOS

Conforme mencionado anteriormente, o Problema de Alocação de Salas pode possuir diversas restrições como, por exemplo, a capacidade das salas, recursos midiáticos e tipo de mesa.

Para este trabalho foram utilizadas as definições de restrições apresentadas por Subramanian et al. (2006), que as separam entre restrições essenciais do problema e requisitos não essenciais, que são requisitos de qualidade da solução.

Desse modo, tem-se os seguinte requisitos essenciais e não essenciais a serem atendidos na UFERSA:

Restrições essenciais do problema:

1. Duas ou mais aulas não podem ocorrer simultaneamente na mesma sala;
2. Aulas de uma determinada turma não podem ser alocadas em mais de uma sala num mesmo horário;
3. Aulas de uma determinada turma só devem ser alocadas em salas de capacidade maior ou igual à demanda de estudantes desta;
4. Aulas que necessitam de laboratório só devem ser alocadas no laboratório.

Requisitos não essenciais:

1. Manter cada professor com a maior disponibilidade de horários ministrando aula na mesma sala;
2. Sempre que possível alocar os alunos de um mesmo turma em uma mesma sala;
3. Utilizar o espaço das salas eficientemente, isto é, evitar alocar aulas de turmas pequenas em salas de maior capacidade.

Desse modo, tendo em vista o CAP, as restrições e os requisitos de qualidade já mencionados sobre o caso da UFERSA, este trabalho tem o objetivo de responder a seguinte pergunta: qual(ais) técnica(s) de resolução do CAP, comparando suas vantagens e desvantagens, que possivelmente melhor se aplica(m) ao caso da UFERSA Campus Pau dos Ferros?

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, serão apresentados os trabalhos relacionados analisados e serão destacados suas principais contribuições.

4.1 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS

Martínez-Alfaro e Flores-Teran (1998) trabalharam no problema de alocação de salas no Instituto Tecnológico e de Estudos Superiores de Monterrey (ITESM) automatizando por meio do desenvolvimento de um sistema capaz de designar a sala de aula mais adequada para cada da turma. A fim de encontrar uma solução para o CAP, que no momento possuía 3.000 aulas diferentes em 190 salas de aula, levando em consideração o equipamento que a sala possui, a capacidade da sala e também a distância percorrida pelo professor de seu escritório até a sala de aula. O problema foi formulado como uma otimização e resolvido utilizando a meta-heurística SA, devido à complexidade do mesmo. Obtiveram como resultados o uso mais eficiente das salas de aula e a redução no tempo de construção de uma solução, se comparados com a solução obtida manualmente.

Abdennadher, Saft e Will (2000) resolvem o problema de alocação de salas da Universidade de Munique na Alemanha utilizando um protótipo denominado *Room Plan* a partir do uso da programação baseada em restrições (CLP- *Constraint Logic Programming*), alocando cerca de 1000 turmas em 40 salas. Os autores destacam que o CAP na universidade acontece em duas fases: a primeira é a determinação dos horários dos cursos (disciplinas/aulas), onde cada departamento define sua grade de horários, sem considerar a disponibilidade das salas, com exceção do departamento de Ciência da Computação, que realizava a tarefa com o auxílio de um sistema. Na segunda fase, os cursos deveriam ser alocados entre as salas, mas apenas depois de coletadas a grade de horários de todos os departamentos e suas restrições, montando, assim, a alocação final. Os autores classificam as restrições como sendo *hard*, aquelas que precisam ser satisfeitas, e *soft*, as que deveriam ser satisfeitas quando possível. O protótipo obteve resultados satisfatórios em poucos minutos.

Souza et al. (2002) aplicam uma técnica baseada em trocas sistemáticas de vizinhança ao longo da pesquisa, conhecida como *Variable Neighborhood Search*

(VNS), para resolver o CAP no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), na Universidade Federal de Ouro Preto (UFPO), alocando cerca de 233 turmas em 20 salas de aula. Partindo de uma solução inicial gerada por um procedimento construtivo parcialmente guloso, essa solução é então submetida ao método VNS, o qual faz uso de três estruturas diferentes de vizinhança. Duas versões da fase de busca local deste método são testadas. Na primeira versão, faz-se uma busca local usando o *Variable Neighborhood Descent*, (VND). Na segunda, procura-se apenas o melhor vizinho na estrutura de vizinhança corrente da solução em análise. Algumas restrições abordadas pelo problema são: (a) não haver mais de uma disciplina alocada em uma mesma sala e horário; (b) não exceder a capacidade da sala de aula; (c) sempre que possível, alocar a uma mesma sala alunos de um mesmo curso e período; (d) utilizar o espaço das salas eficientemente, ou seja, evitar turmas pequenas em salas de maior capacidade. Os resultados obtidos com primeira versão mostrou-se mais eficiente do que a segunda versão.

Ainda no mesmo ano, Souza, Martins e Araújo (2002) apresentam uma heurística híbrida para também resolver o CAP no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), na Universidade Federal de Ouro Preto (UFPO). Uma solução inicial foi gerada por um procedimento construtivo parcialmente guloso e submetida à heurística SA. A solução final desse método foi, então, aprimorada por um algoritmo de TS. As restrições abordadas pelos autores são praticamente as mesmas do trabalho anterior. A técnica híbrida conseguiu produzir melhores soluções finais melhores em todos os casos.

Castro (2003) também aplicou a meta-heurística SA no ICEB da UFOP, utilizando-se como movimento de vizinhança a realocação de turmas a salas. A função objetivo utilizada pelo método visou principalmente a eliminação de inviabilidades, no caso, a alocação em sala cuja a capacidade seja maior ou igual ao tamanho da turma. A solução buscou também a utilização proveitosa do espaço não alocando turmas muito pequenas para salas muito grades, além de tentar agrupar todas as aulas semanais de uma dada turma em uma mesma sala de aula. Esse procedimento mostrou ser eficaz, conseguindo produzir soluções finais com boa qualidade. Ressalta-se que o ICEB adotou o sistema desenvolvido neste trabalho para o primeiro semestre letivo de 2003.

Em Silva (2005) o CAP é tratado em três casos, um real, referente ao ICEB da UFOP, e dois outros fictícios. Silva usou a meta-heurística AS, onde os resultados

obtidos são considerados eficientes, pois o mesmo conseguiu atender a maioria das restrições impostas.

Subramanian et al. (2006) aplicaram a meta-heurística TS no Centro de Tecnologia (CT), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). O trabalho consistiu em alocar as aulas de 6 cursos em vinte e oito salas de aula do CT. Algumas restrições de viabilidade abordadas pelo trabalho são: (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 horário; (c) aulas de uma determinada turma só devem ser alocadas em salas com capacidade maior ou igual à demanda de estudantes desta. E alguns dos requisitos de qualidade foram: (a) aulas a serem ministradas preferencialmente em carteiras não devem ser alocadas em salas do tipo mesa; (b) aulas a serem ministradas preferencialmente em carteiras não devem ser alocadas em salas do tipo prancheta. Os resultados contemplaram todas as restrições de viabilidade com um adicional qualitativo, se comparado com a solução obtida manualmente. A meta-heurística TS mostrou-se adequada a este problema, tendo sempre produzido melhorias significativas durante o processo de refinamento da solução inicial.

Kripka e Kripka (2010, 2012, 2013) trabalham com os CAP na Universidade de Passo Fundo (UPF), utilizando a meta-heurística SA com o intuito de minimizar a distância total percorrida pelos alunos, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências (ICEG), mantendo os alunos o mais próximo possível das suas respectivas unidades. O estudo visava alocar 140 disciplinas em 38 salas de aula. Para a formulação do modelo de otimização os autores consideram as seguintes restrições essenciais: a) as aulas de duas disciplinas não podem ocorrer simultaneamente em uma mesma sala; b) a aula de uma disciplina não pode ocorrer em mais de uma sala concomitantemente; e, c) a capacidade da sala deve ser maior ou igual ao número de alunos inscritos para a disciplina. Os autores ainda trabalharam com o requisito de qualidade referente à possibilidade de uma sobra de lugares na sala de aula frente ao número disponibilizado pela disciplina. Obtiveram como resultados soluções viáveis melhores do que as praticadas anteriormente.

Ovalle et al. (2014) trabalharam no problema de atribuição de horários e no de alocação de salas na *Universidad de La Sabana*, Colômbia. O problema foi caracterizado e modelado usando Programação Linear Inteira (PLI). Os autores obtiveram uma amostra de 10 cursos de graduação e devido à sua complexidade no

número de variáveis de decisão e de restrições, a solução foi proposta em duas fases: programação do curso, em primeiro lugar, e atribuição da sala de aula, em segundo lugar. Algumas das restrições abordadas referentes ao problema de alocação de salas foram: a) as aulas de duas disciplinas não podem ocorrer simultaneamente em uma mesma sala; b) a capacidade da sala deve ser maior ou igual ao número de alunos inscritos para a disciplina. Os resultados mostraram que a abordagem proposta obtém uma melhor utilização das salas de aula que satisfazem as restrições rígidas e flexíveis do problema original.

Prado (2014) apresentou um sistema computacional destinado a resolver o CAP do ICEB da UFOP. O sistema desenvolvido aplicou um algoritmo de otimização que parte de uma solução inicial construída de forma gulosa e refinado pela meta-heurística SA. Algumas das restrições foram: a) todas as aulas devem ser alocadas; b) não alocar turmas a salas que não comportem essas turmas; c) evitar a alocação de turmas pequenas a salas de maior capacidade; d) alocar turmas de disciplinas de mesmo curso e período preferencialmente em uma mesma sala, evitando, assim, o trânsito de alunos entre salas; e) preferencialmente, alocar aulas aos prédios requisitados pelos professores das turmas. Os resultados mostraram que a fase de refinamento foi capaz de melhorar a solução inicial em até 15%.

Sales (2015) devolve um modelo matemático para tratar o CAP do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a fim de tornar mais eficiente o uso dos espaços em virtude da crescente demanda do Centro. Algumas das restrições abordadas foram: a) alunos que requeiram acessibilidade devem ter suas disciplinas alocadas em salas que promovam o melhor acesso; b) disciplinas que requeiram material específico devem ficar nas salas com esses materiais; c) as salas devem estar próximas ao departamento correspondente ao professor; d) procura-se manter o professor com a maior disponibilidade de períodos na mesma sala; e) sempre que possível, alocar os alunos de um mesmo curso e turma em uma mesma sala. Como resultado obteve-se uma melhor distribuição dos espaços, de modo que em muitas das soluções houve sobra de salas em comparação à solução vigente naquele trabalho.

Cirino, Santos e Delbem (2015) trabalharam o problema de alocação de salas no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo (USP) utilizando um modelo de programação inteira e um Algoritmo de Estimação de Distribuição (AED) - Algoritmo Genético Compacto (AGC). As restrições

e os requisitos de qualidade abordados foram: a) todas as aulas devem ser alocadas; b) duas ou mais aulas não podem ocorrer simultaneamente na mesma sala; c) alocar as turmas em salas cuja a capacidade seja maior ou igual ao número de solicitações na turma; d) sempre que possível alocar todas as aulas de uma mesma turma em uma mesma sala. Os dois métodos propostos promoveram soluções favoráveis onde a meta-heurística obteve melhores soluções para instâncias maiores, enquanto a abordagem pela resolução do modelo foi melhor para instâncias menores.

O Quadro 3 a seguir contém um resumo das referências apontadas anteriormente com os principais métodos adotados:

Quadro 3 - Resumo dos principais estudos abordados.

Autor(es)	Ano	Objeto de estudo	Método utilizado	Cenário
Martínez-Alfaro e Flores-Terán	1998	Instituto Tecnológico e de Estudos Superiores de Monterrey - México (ITESM)	<i>Simulated Annealing</i> .	198 salas para 3.000 aulas;
Abdennadher, Saft e Will	2000	Universidade de Munique – Alemanha	Programação baseada em restrições (CLP - <i>Constraint Logic Programming</i>).	40 salas para 1.000 turmas;
Souza et al.	2002	Instituto de Ciências e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	<i>Variable Neighborhood Search</i> (VNS).	Instância I: 17 salas para 214 turmas; Instância II: 20 salas para 233 turmas (caso real); Instância III: 22 salas para 281 turmas;
Souza, Martins e Araújo	2002	Instituto de Ciências e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	<i>Simulated Annealing</i> e Tabu Search.	Instância I: 17 salas para 214 turmas; Instância II: 20 salas para 233 turmas (caso real); Instância III: 22 salas para 281 turmas;

Quadro 3 - Resumo dos principais estudos abordados. (continuação)

Autor(es)	Ano	Objeto de estudo	Método utilizado	Cenário
Castro	2003	Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	<i>Simulated Annealing.</i>	20 salas para 250 turmas;
Silva	2005	Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	<i>Simulated Annealing.</i>	Instância I: 6 salas para 48 turmas; Instância II: 10 salas para 73 turmas; Instância III: 31 salas para 254 turmas (caso real);
Subramanian et al.	2006	Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB)	Tabu Search.	28 salas para 1021 horas-aula;
Kripka e Kripka	2010, 2012 e 2013	Universidade de Passo Fundo	<i>Simulated Annealing.</i>	38 salas para 140 disciplinas;

Quadro 3 - Resumo dos principais estudos abordados. (Continuação)

Autor(es)	Ano	Objeto de estudo	Método utilizado	Cenário
Ovalle et al.	2014	<i>Universidad de La Sabana</i> , Colômbia	Programação linear inteira	53 salas para 276 turmas
Prado	2014	Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	<i>Simulated Annealing</i> .	35 salas para aproximadamente 570 turmas;
Sales	2015	Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria	Modelo matemático tendo como aporte metodológico os preceitos da pesquisa operacional.	47 salas para 12 cursos de graduação;
Cirino, Santos e Delbem	2015	Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP)	Um modelo de programação inteira; Algoritmo de Estimação de Distribuição (AED) - Algoritmo Genético Compacto (CGA).	23 salas para 140 turmas;

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O problema do CAP abordado por Martínez-Alfaro e Flores-Terán (1998) é muito grande, cerca de 3.000 aulas diferentes para serem alocadas em 190 salas e o método proposto, SA, levaria um tempo computacional na tentativa de buscar uma solução. Para contornar tal situação, os autores seccionaram em grupos que tem suas aulas acontecendo no mesmo horário, realizando a alocação de um grupo por vez e o processo continuava até que todas as turmas fossem alocadas. Desse modo, apesar do método proposto ser eficiente no contexto aplicado, o mesmo não foi eficaz para problemas de grande porte.

Silva (2005) explanou que o método de SA requer um grande esforço em calibração de parâmetros para a geração de melhores soluções. Souza (2002) esclareceu que, após uma série de testes realizados, o método VNS é dependente de uma boa solução inicial, de modo que os autores utilizaram uma solução inicial parcialmente gulosa. Souza, Martins e Araújo (2002) utilizaram um método híbrido combinando SA + TS onde essa técnica híbrida não é fortemente influenciada pela solução inicial.

Baseado nos estudos mencionados na Seção 4, no Quadro 4 são apresentadas as vantagens e as desvantagens de cada método explicitadas pelos respectivos autores dos trabalhos citados.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de cada método utilizado como solução do CAP.

Autor	Ano	Método	Vantagem	Desvantagem
Martínez-Alfaro e Flores-Terán	1998	SA	Bom desempenho em soluções e tempo computacional para problemas onde o número de turmas é pequeno;	Tempo computacional elevado para problemas onde a quantidade de turmas é grande;
Castro	2003	SA	Solucionou o CAP sempre que executado;	-
Silva	2005	SA	Solucionou o CAP sempre que executado;	Dificuldades em calibrar os parâmetros;
Kripka e Kripka	2010,2012 e 2013	SA	Solucionou o CAP sempre que executado;	-
Prado	2014	SA	Solucionou o CAP sempre que executado;	-
Souza et al.	2002	VNS	Solucionou o CAP sempre que executado;	Depende de uma boa solução inicial;
Souza, Martins e Araújo	2002	SA + TS	Superioridade da técnica híbrida sobre as técnicas Busca Tabu e Recozimento Simulado tomadas isoladamente;	-
Subramanian et al.	2006	TS	Solucionou o CAP sempre que executado;	-
Cirino, Santos e Delbem	2015	Um modelo de programação inteira; Algoritmo de Estimação de Distribuição (AED) - Algoritmo Genético Compacto (AGc).	Solucionou o CAP sempre que executado em ambas as abordagens;	O desempenho do modelo de Programação Inteira cai com o aumento do número de turmas a serem alocadas no problema;

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de cada método utilizado como solução do CAP. (continuação)

Autor	Ano	Método	Vantagem	Desvantagem
Abdennadher, Saft e Will	2000	Programação baseada em restrições (CLP - <i>Constraint Logic Programming</i>).	Solucionou o CAP sempre que executado em poucos minutos;	-
Ovalle et al.	2014	Programação Linear Inteira.	Solucionou o CAP sempre que executado;	-
Sales	2015	Modelo matemático tendo como aporte metodológico os preceitos da Pesquisa Operacional.	Solucionou o CAP sempre que executado;	Soluções geradas apresentam semelhanças com a alocação realizada manualmente;

O método SA apresenta algumas desvantagens como mencionadas anteriormente, no entanto, o mesmo apresenta resultados consideravelmente melhores se comparados com a alocação realizada manualmente. Para problemas de pequeno porte como os apresentados por Castro (2003), Silva (2005), Kripka e Kripka (2010, 2012, 2013) e Prado (2014) a técnica conseguiu suprir todos as restrições e a maioria dos requisitos de qualidade provando ser eficiente para problemas cujo o quadro geral é menor. Souza, Martins e Araújo (2002) mostraram que uma técnica híbrida combinando SA + TS, envolvendo os melhores aspectos de cada meta-heurística, é consideravelmente superior sobre as técnicas SA e TS tomadas isoladamente.

Como mostrado na Seção 4 e no Quadro 4, onde são apresentada as vantagens e desvantagens de cada método, a meta-heurística TS é um possível método candidato a resolver o problema do CAP na UFERSA. Como dito anteriormente a meta-heurística TS é um procedimento de otimização local que admite soluções de piora para escapar de ótimos locais.

A meta-heurística Recozimento Simulado também é outro possível candidato a resolver o CAP na UFERSA. Essa é uma técnica de otimização local que também permite o movimento de piora a fim de escapar de ótimos locais. Essa técnica é análoga ao processo de têmpera na metalurgia onde o material é aquecido e gradualmente resfriado a fim de alcançar um estado cristalino de baixa energia.

Tendo em vista que o objetivo com este trabalho é responder a seguinte pergunta: “Qual(ais) técnica(s) de resolução do CAP, comparando suas vantagens de desvantagens, que possivelmente melhor se aplica(m) ao caso da UFERSA, Campus Pau dos Ferros?”, é possível afirmar que a técnica que melhor se aplica ao problema em questão é uma técnica híbrida que combina os métodos SA e TS como a apresentada por Souza, Martins e Araújo (2002).

Isto porque as restrições apresentadas neste trabalho muito se assemelham às restrições do objeto deste estudo, sendo três das quatro restrições de viabilidade inerentes a UFERSA são satisfeitas no estudo apontado, são elas: 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 horário; c) aulas de uma determinada turma só devem ser alocadas em salas de capacidade maior ou igual à demanda de estudantes desta. Um requisito de qualidade também foi satisfeito no trabalho mencionado, a saber: a) utilizar o espaço das salas

eficientemente, isto é, evitar alocar aulas de turmas pequenas em salas de maior capacidade.

No tocante aos cenários do problema, os trabalhos possuem características semelhantes. Por exemplo, no total a UFERSA possui 260 turmas neste período de 2018.1 para serem alocadas em 37 salas e o caso da UFOP abordado por Souza, Martins e Araújo (2002) contam com 233 turmas a serem alocadas em 20 salas. O CAP na UFOP foi solucionado a cada execução e sempre obteve resultados satisfatórios se comparados com a solução manual utilizada naquela época. Sendo assim, a técnica híbrida é a melhor solução candidata, pois ela agrega as melhores características de cada meta-heurística que a compõe.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi realizar um estudo a fim de identificar os possíveis métodos capazes de solucionar o problema de alocação de salas, identificar as restrições de viabilidade e os requisitos de qualidade inerentes ao contexto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros, e por fim identificar qual(ais) método(s) melhor se aplica(m) ao objeto de estudo.

Considerando que a UFERSA realiza a alocação de salas duas vezes ao ano antes do início das aulas, tendo um servidor como responsável pela designação das salas manualmente, a implementação da técnica proposta possibilitaria que o servidor ficasse livre para exercer outras funções. Assim, com o intuito de compreender o problema presente na universidade a fim de encontrar uma possível solução, o estudo foi realizado e possibilitou analisar e identificar que o melhor método de resolução do problema é uma técnica híbrida envolvendo os melhores aspectos das meta-heurísticas SA e TS.

Por fim, para trabalhos futuros sugere-se a implementação da técnica proposta no âmbito do CAP da UFERSA, assim como a aplicação de outras técnicas menos utilizadas como o *Ant Colony Optimization* (ACO) com o objetivo de verificar o desempenho de outras técnicas meta-heurísticas que também são capazes de solucionar o CAP.

A solução indicada pode ser um bom início para outras instituições que buscam uma solução para o CAP, desde que as mesmas possuam características semelhantes as apresentadas pelo objeto deste estudo.

7. REFERÊNCIAS

- ABDENNADHER, S.; SAFT, M.; WILL, S. Classroom assignment using constraint logic programming. **Science**, n. March, 2000.
- CASTRO, O. DE M. Resolução do Problema de alocação de salas de aula via Simulated Annealing. p. 1–46, 2003.
- CAZETTA, P. P. **Abordagens heurísticas para tratar o problema do Caixeiro Viajante Preto e Branco**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- CIRINO, R. B. Z.; SANTOS, M. O.; DELBEM, A. C. B. Aplicação da meta-heurística AGC para o problema de alocação de aulas à salas. **XLVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, n. August, p. 1745–1755, 2015.
- CORDENONSI, A. Z. Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas. p. 228, 2008.
- EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. On the complexity of time table and multicommodity flow problems. **SIAM Journal of Computation**, v. 5, p. 691–703, 1976.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução a pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 2006.
- KRIPKA, M. R. L.; KRIPKA, M. Alocação de salas objetivando a minimização de deslocamentos dos alunos pelo Campus Central da Universidade de Passo Fundo. **Cnmac**, p. 1401–1402 (02), 2012.
- KRIPKA, R. M. L.; KRIPKA, M. Simulated Annealing Aplicado Na Otimização Da Alocação de Salas em Instituição de Ensino Superior. **Mecânica Computacional**, v. XXIX, n. May 2014, p. 9317–9325, 2010.
- KRIPKA, R. M. L.; KRIPKA, M. Simulated Annealing Aplicado ao Problema de Alocação de Salas com Deslocamentos Mínimos. **Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional**, p. 325–338, 2013.
- MARTÍNEZ-ALFARO, H.; FLORES-TERÁN, G. Solving the classroom assignment problem with simulated annealing. **SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No.98CH36218)**, v. 4, p. 3703–3708, 1998.
- OVALLE, C. T. et al. University Course Scheduling and Classsroom assignent. **Ing. Univ. Bogotá (Colombia)**, v. 18, p. 59–75, 2014.
- PRADO, A. S. **Problema de Alocação de Salas em Cursos Universitários : Um Estudo de Caso**. [s.l.] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2014.
- RANGEL, M. C.; ABREU, N. M. M.; NETTO, P. O. B. GRASP para PQA : Um limite de aceitação para soluções iniciais. **Pesquisa Operacional**, v. 20, n. 1, p. 45–58, 2000.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- SALES, E. DOS S. **Problema de Alocação de Salas e a Otimização dos Espaços no Centro de Tecnologia da UFSM**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- SCHAERF, A. A Survey of Automated Deduction. n. Artificial Intelligence Review, p. 87–127, 1999.
- SILVA, A. S. N. E. **Estudo e implementação, mediante Recozimento Simulado, do Problema de Alocação de Salas**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2005.

SILVA, C. A.; SOUZA, S. R.; MOURÃO, F. P. Uma aplicação do Algoritmo Genético a da meta-heurística Iterated Local Search a problemas de fluxo multiproduto. p. 1–13, 2008.

SOUZA, M. J. F. et al. Métodos de pesquisa em vizinhança variável aplicados ao Problema de Alocação de Salas. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 1–8, 2002.

SOUZA, M. J. F.; MARTINS, A. X.; ARAÚJO, C. R. DE. Experiências com o Simulated Annealing e Busta Tabu na resolução do problema de alocação de sala. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2002.

SUBRAMANIAN, A. et al. Aplicação da metaheurística Busca Tabu na resolução do Problema de Alocação de Salas do Centro de Tecnologia da UFPB. **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, p. 1–9, 2006.