

Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931011	
CAPÍTULO 2	11
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931012	
CAPÍTULO 3	19
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931013	
CAPÍTULO 4	34
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931014	
CAPÍTULO 5	46
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931015	
CAPÍTULO 6	57
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931016	

CAPÍTULO 7 67

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO AEDES AEGYPTI EM PALHETAS DE OVITAMPAS: UM SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Carlos Diego Franco da Rocha
Ayla Márcia Cordeiro Bizerra
Demétrios Araújo Magalhães Coutinho
Luiz Fernando Virginio da Silva
Michel Santana de Deus
Phablo Márcio de Paiva Souto

DOI 10.22533/at.ed.8721931017

CAPÍTULO 8 75

CONTROLADOR FUZZY MAMDANI APLICADO À NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA EM AMBIENTE DESCONHECIDO VARIANTE NO TEMPO

Eduardo Vilela Pierangeli
Jordann Alessander Rosa Almeida
Marcelo Vilela Pierangeli

DOI 10.22533/at.ed.8721931018

CAPÍTULO 9 82

CONTROLE ROBUSTO APLICADO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO VISANDO ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES

Camila Albertin Xavier da Silva
Daniel Almeida Colombo
Edson Hideki Koroishi
Albert Willian Faria

DOI 10.22533/at.ed.8721931019

CAPÍTULO 10 96

ESTRATÉGIAS HEURÍSTICAS PARA POSICIONAMENTO DE UNIDADES DE MEDIÇÃO FASORIAL

Marcio André Ribeiro Guimaraens
Julio Cesar Stacchini de Souza
Milton Brown Do Coutto Filho
Breno Crespo Zeba

DOI 10.22533/at.ed.87219310110

CAPÍTULO 11 109

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB NO PERÍODO DE 1984 A 2016

Márcia de Lacerda Santos
Thayse Bezerra da Silva
Maria Raiana Almeida Silva
Danielle Leal Barros Gomes

DOI 10.22533/at.ed.87219310111

CAPÍTULO 12 116

FLAMBAGEM LINEAR E NÃO-LINEAR UTILIZANDO UMA ANÁLISE NUMÉRICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Rodrigo Villaca Santos
Leticia Barizon Col Debella

DOI 10.22533/at.ed.87219310112

CAPÍTULO 13..... 121

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

Carolina Cristiano Barbosa
Ariadne Duarte Libutti Nuñez
Adriane Abreu Cadar
Alexandre Motta Tunes
Bárbara Alves Oliveira
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.87219310113

CAPÍTULO 14..... 132

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Josué Domingos da Silva Neto
Débora Cristina Almeida de Assis
Nayra Vicente Sousa da Silva
Zenilda Vieira Batista

DOI 10.22533/at.ed.87219310114

CAPÍTULO 15..... 143

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

Leticia Barizon Col Debella
Rodrigo Villaca Santos

DOI 10.22533/at.ed.87219310115

CAPÍTULO 16..... 149

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

Ubiratan Holanda Bezerra
João Paulo Abreu Vieira
Werboston Douglas de Oliveira
Daniel Augusto Martins
Dione José Abreu Vieira
Bernard Carvalho Bernardes
Benedito das Graças Duarte Rodrigues
Vilson Castro

DOI 10.22533/at.ed.87219310116

CAPÍTULO 17 166

O WATSON DA IBM

Eduardo Bruno de Almeida Donato
Amanda Moura Camilo

DOI 10.22533/at.ed.87219310117

CAPÍTULO 18..... 173

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

Guilherme Medina Cameu
Victor Araujo Figueredo Fischer
Wataru Iwamoto
Rômulo Henrique Batista de Farias

DOI 10.22533/at.ed.87219310118

CAPÍTULO 19 178

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

João Henrique Berssanette
Antonio Carlos de Francisco
Fabiane Ferreira
Maria Fernanda Müller Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.87219310119

CAPÍTULO 20 188

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

João Luiz Lopes Monteiro Neto
Roberto Tadashi Sakazaki
Raphael Henrique da Silva Siqueira
Carlos Abanto-Rodríguez
Sonicley da Silva Maia
Rannyonara Oliveira Rodrigues
Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.87219310120

CAPÍTULO 21 194

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

Lucas Maquedano da Silva
Marcos Cesar Danhoni Neves
Fernanda Tiemi Karia
Gabriel Francischini de Oliveira
Leandro Moraes Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.87219310121

CAPÍTULO 22 202

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida
Marcelo Vieira-Filho
Sílvia Yanagi
Marcelo Ribeiro Viola

DOI 10.22533/at.ed.87219310122

CAPÍTULO 23 217

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo
Paulo Irineu Koltermann

DOI 10.22533/at.ed.87219310123

CAPÍTULO 24 229

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira
Matheus Correia Teixeira
Marco Antonio Bonelli Junior

DOI 10.22533/at.ed.87219310124

CAPÍTULO 25 242

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

Ester Afonso
Katyanne Conceição
Beatriz Campos
Franklin Inácio
Margarete Volpato
Helena Alves

DOI 10.22533/at.ed.87219310125

CAPÍTULO 26 249

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

Rennan Otavio Kanashiro
Edson Hideki Koroishi
Fabian Andres Lara-Molina

DOI 10.22533/at.ed.87219310126

CAPÍTULO 27 258

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda
Rodrigo Allan Pereira
Francisco Carlos Gomes
Roberto Alves Braga Junior
Fernando Pujaico Rivera
Lucas Henrique Pedrozo Abreu

DOI 10.22533/at.ed.87219310127

CAPÍTULO 28 264

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

Mariana Espíndola Vieira
Helena Dufau
Christian Muller
Anderson Ferrugem
Antonio Silva
Rafael Soares

DOI 10.22533/at.ed.87219310128

CAPÍTULO 29 269

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

Diego Nei Venturi
Francisco José De Souza

DOI 10.22533/at.ed.87219310129

SOBRE O ORGANIZADOR 280

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
rvo@ufmg.br

Matheus Correia Teixeira

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
matheus.ct@aluno.ufop.edu.br

Marco Antonio Bonelli Junior

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
m228351@dac.unicamp.br

RESUMO: O *School Assignment Problem* consiste em alocar estudantes em uma determinada escola, dado uma série de critérios impostos por parte da escola e pelos próprios alunos, visando maximizar a utilidade total obtida com essa alocação. Com isso, este trabalho propõe um algoritmo utilizando a metaheurística *Iterated Local Search*, baseado no uso de um critério de contribuição entre aluno-escola e de diferentes estratégias nas fases construtivas e de busca local. Os resultados obtidos, utilizando instâncias geradas pelos autores do trabalho para validar o algoritmo são comparados com um método exato disponível na literatura a fim de atestar a qualidade da estratégia utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: alocação de alunos em escolas; emparelhamento estável; iterated local search.

ABSTRACT: The School Assignment Problem

consists of allocating students in a certain school, given a series of criteria imposed in part by the school and by the students themselves, in order to maximize the total utility obtained with this allocation. Therefore, this study na algorithm using the Iterated Local Search metaheuristic, based on the use of a criterion of contribution between student-school and of different strategies used in the construction and local search phases. The results obtained, using instances generated by the authors of the work to validate the algorithm are compared with an exact method in the literature in order to attest the quality of the strategy used

KEYWORDS: allocation of students in schools; stable marriage; iterated local search.

1 | INTRODUÇÃO

A alocação de alunos em escolas é um problema existente em todas as cidades, principalmente em grandes centros urbanos. Este fato se dá pela falta de preparo da estrutura de ensino nacional mediante a demanda existente por educação, que sofreu grande expansão a partir do final dos anos 80, com a restauração do regime democrático.

Existe uma série de estudos que demonstram a relação existente entre os problemas de renda e de desigualdade educacional

no Brasil. Ferreira e Veloso (2006) afirmam que a desigualdade educacional explicita metade da desigualdade de renda no país. Madeira (2006) reforça este pensamento dizendo que a elevada desigualdade de renda salarial na força de trabalho, em grande medida, é fruto da desigualdade educacional. Juntamente com esses estudos, outra hipótese levantada é de que uma parte da baixa qualidade e desigualdade do sistema educacional pode ser causada por um problema de alocação entre alunos e escolas.

Segundo Delgado (2013), o excesso de demanda por escolas públicas seguido de conjuntos heterogêneos de escolas culminou na formação de filas para a efetivação das matrículas em muitas capitais do país. Como motivos para a formação de filas na efetivação de matrículas nas escolas públicas, três principais aspectos podem ser apontados: (i) a crise econômica, que levou a substituição de escolas particulares por escolas públicas (FONSECA e ZUPPO, 1997); (ii) o investimento precário em infraestrutura escolar (PINTO, 1999) e (iii) a insuficiência de canais centralizados que disponibilizem os dados consolidados de demanda de alunos e oferta de vagas públicas escolares (PINTO, 1999).

Porém, a insuficiência de vagas não é apresentada em todo o sistema escolar, mas sim somente para algumas escolas que possuem maior demanda (FONSECA e ZUPPO, 1997). Este fato ocorre pois, buscando um melhor ensino para seus filhos e uma maior comodidade quanto a locomoção entre escola e lar, os pais possuem preferência por escolas que são mais próximas a seus domicílios e/ou tenham um maior índice de qualidade de ensino.

Partindo desta problemática, gera-se a necessidade de medidas de melhoria para o sistema educacional brasileiro e, com isso, o presente trabalho tem o objetivo de propor um método metaheurístico para o problema de estudantes em escolas de rede pública por meio da utilização de algoritmos baseados no princípio de emparelhamento estável.

Este estudo apresenta na Seção 2 um referencial teórico, possuindo a fundamentação conceitual da literatura sobre a problemática a alocação de estudantes em escolas que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho. Na Seção 3 são apresentados conceitos sobre os métodos de emparelhamento estável e, na Seção 4, o algoritmo proposto é introduzido. Na Seção 5 são demonstrados os resultados obtidos pelo estudo, bem como são realizadas discussões sobre o observado. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2 | REVISÃO DA LITERATURA

A alocação de recursos à estudantes de diferentes classes socioeconômicas é um problema importante e considerado em qualquer política educacional que afeta de forma direta o desenvolvimento individual destes estudantes.

Trabalhos iniciais sobre o tema culminam da década de 80 (Hanushek, 1986) e,

desde então, diversos trabalhos sobre esta problemática passaram a ser realizados, inicialmente distinguindo o esquema de alocação entre compensatório e regressivo (Wooessmann, 2005; West e Wooessmann, 2006). No entanto, mesmo com diversos estudos, o entendimento sobre a tratativa frente o atendimento dos objetivos e restrições atrelados ao problema de alocação de estudantes em escolas ainda não é claro, principalmente no que tange às diferenças socioeconômicas e preferências individuais e os impactos dessas alocações nos resultados alcançados nos indicadores educacionais.

O problema de alocação de estudantes é encontrado em diversas formas na literatura e possui diversos métodos utilizados para sua tratativa. Antunes e Peeters (2000) apresentaram um modelo dinâmico para a resolução do problema multiperíodico focado em escolas do ensino elementar (6 a 9 anos). Os autores propuseram também uma resolução heurística para o problema, utilizando *Simulated Annealing*, e aplicaram o estudo formulando propostas para as redes de escolas de várias regiões de Portugal. Já Ndiaye, Ndiaye e Ly (2012) propuseram um algoritmo de *p-Median* para a resolução do problema de alocação de alunos em escolas, visando a minimização das distâncias entre as casas dos estudantes e as escolas. O algoritmo foi aplicado em diversas localidades de Dakas, no Senegal, buscando a alocação de alunos residentes em subúrbios.

Um ponto em comum entre a maioria dos algoritmos e modelos para a tratativa do problema de alocação de alunos em escolas é a preocupação quanto a distância percorrida por estes, sendo um estudo sobre a performance dos alunos em relação a este parâmetro realizado em Mhiliwa (2015). Porém, um outro ponto a se considerar é a preferência dos estudantes.

Castilho-López e López-Ospina (2015) realizaram uma modelagem do problema considerando a preferência dos estudantes. Para a resolução do modelo proposto, os autores utilizaram a metaheurística *Tabu Search* e aplicaram sua pesquisa em instância inspiradas no problema de alocação do Chile, avaliando distintos cenários da problemática.

O problema de alocação de alunos em escolas pode ser visto como um problema de âmbito global. No Brasil, esta ação começou a se tornar complexa no ensino público a partir dos anos 90, em que o país instaurou diretrizes educacionais de fomento ao direito à educação universal. A partir desses anos, a demanda por ensino público passou a sofrer grande crescimento, não sendo acompanhada pelo crescimento da infraestrutura e, assim, culminando em um número insuficiente de escolas (PINTO, 1999, p. 140).

Assim, a partir dos anos 2000, estudos sobre o tema também passaram a ser realizados no país. Delgado (2013) estudou o problema de alocação de alunos nas escolas de Belo Horizonte. O autor propôs algoritmos de pareamento utilizando parâmetros obtidos por meio de uma análise exploratória efetuado no município. Marques, Pereira e Caggy (2015) demonstraram a resolução do problema de alocação

da demanda escolar por meio de tecnologias SIG, utilizando como regra que os estudantes podem somente ser alocados a uma distância máxima de 1000 metros da sua residência.

Outros estudos sobre o tema no Brasil também podem ser vistos em Oliveira, Pessoa e Roboredo (2015), que propuseram um modelo de Programação Linear Inteira de duas fases para a resolução do problema aplicando seu estudo na otimização da distribuição de estudantes da cidade de São Gonçalo – RJ, e em Fernandes (2018), que analisou o problema de matrículas escolares no ensino público de São Paulo por meio da utilização de instrumentos de teoria dos jogos.

Através dos anos e com o desenvolvimento dos estudos realizados na área em âmbito global, outros problemas que podem ser vistos como similares surgiram na literatura. Um exemplo relevante é o da alocação de estudantes em projetos de pesquisa que, tal como o problema de alocação de alunos em escolas, possui restrições de capacidade e preferências dos estudantes.

Abraham, Irving e Manlove (2007) estudaram este problema e propuseram dois algoritmos para sua resolução. Os algoritmos propostos possuem características similares ao proposto por Gale e Shapley (1962) para o problema de estabilidade em casamentos. Manlove e O'Malley (2008) propuseram uma abordagem do problema considerando as preferências entre projetos e provaram que o problema relacionado a encontrar uma correspondência estável máxima é *APX-Hard*. Os autores demonstram em seu trabalho um algoritmo *2-approximation* possuindo tempo polinomial para o problema. Os *bounds* encontrados no trabalho de Manlove e O'Malley (2008) foram aprimorados no estudo de Iwama, Miyazaki e Yanagisawa (2012).

Dado a importância dos estudos envolvendo os problemas da alocação de estudantes em escolas e problemas possuindo similaridades, principalmente no âmbito público de ensino, diversos outros estudos foram efetuados desde suas proposições. De modo a fornecer um *overview* sobre o tema, a Tabela 1 lista uma breve parte da literatura envolvendo esta classe de problemas, bem como distingue-os por meio do tipo de aplicação, método utilizado e problema tratado.

Artigo	Tipo de alocação		Método de solução			Survey
	School	Project	Exato	Heurístico	Metaheurístico	
Antunes e Peeters (2000)	x		x			
Dye (2001)		x	x			
Anwar e Bahaj (2003)		x	x			
Abraham, Irving e Manlove (2007)		x		x		
Portela et al. (2008)	x					x
Biró et al. (2010)	x					x
Arifin (2011)	x				x	
Iwama, Miyazaki e Yanagisawa (2012)		x		x		
Ndiaye, Ndiaye e Ly (2012)	x			x		
Cohen-Zada, Gradstein e Reuven (2013)	x					x
Delgado (2013)	x			x		
Castilho-López e López-Ospina (2015)	x				x	
Mhiliwa (2015)	x					x
Oliveira, Pessoa e Robredo (2015)	x		x			
Ágoston, Biró e Szántó (2018)		x	x			
Chiarandini, Fagerberg e Gualandi (2018)	x			x		
Fernandes (2018)		x	x			

Tabela 1. Overview da literatura sobre os problemas de alocação de estudantes em escolas e projetos

Fonte: Os autores (2018)

3 | MODELAGEM MATEMÁTICA E DESCRIÇÕES

A alocação de alunos pode ser representada por um problema de emparelhamento estável (*Stable Matching Problem* ou *Stable Marriage Problem*). Estes problemas podem ser considerados uma generalização do problema de atribuição. O problema de emparelhamento estável consiste em encontrar uma relação entre dois conjuntos

distintos dado as preferências existentes em cada elemento, em que uma relação é dita estável quando, para ambos os elementos, não existe nenhum outro pareamento que forneça melhor relação (SAMBINELLI, 2014).

A primeira e mais conhecida das generalizações dos problemas de emparelhamento estável é o *National Resident Matching Program* (NRMP), iniciado em 1952, que é utilizado para atribuir residentes do curso de medicina às vagas disponíveis em hospitais, nos Estados Unidos. O programa foi iniciado pois havia uma grande disputa dentre os hospitais perante os graduandos dado que estes eram escassos.

O fato de haver uma grande competição gerava muita insatisfação, tanto por parte dos residentes, quanto dos hospitais, chegando a situação forçar os hospitais a ofertarem suas vagas, que deveriam ser aceitas rapidamente, dois anos antes da graduação dos alunos. Assim, todo o processo de alocação de residentes foi designado ao NRMP (GUSFIELD e IRVING, 1989).

Posteriormente, o problema que envolvia os hospitais e os residentes foi resolvido por Gale e Shapley (1962), sendo o algoritmo desenvolvido pelos autores era equivalente ao NRMP, utilizado pelos Estados Unidos desde 1952. Neste mesmo estudo, os autores também propõem uma tratativa para o *Stable Marriage Problem*. Este foi o primeiro trabalho que se tem conhecimento na área dos problemas de emparelhamento estável.

O *Stable Marriage Problem* foi abordado pela primeira vez, em um livro, por Knuth (1976). O autor trazia em seu livro as técnicas consideradas estado-da-arte aplicados a resolução do problema. Devido à grande variedade de aplicações práticas para o problema, este obteve grande sucesso de pesquisa e, dado sua dificuldade de resolução, despertou o interesse em diversos estudiosos de áreas afins (GUSFIELD e IRVING, 1989).

O problema de gerar todo o número de emparelhamentos estáveis possíveis é definido como *#P-Complete*, ou seja, este problema é tão difícil de se resolver quanto um considerado *NP-Complete* (IRVING e LEATHER, 1986). Quando se trata de encontrar o melhor emparelhamento estável possível, o problema é definido como *NP-Hard* (GUSFIELD e IRVING, 1989).

Sæmundsen (2014) desenvolveu uma modelagem para a resolução do problema da alocação de alunos em escolas utilizando princípios de emparelhamento estável, tendo seu modelo o objetivo de maximizar a utilidade da alocação, levando em consideração as preferências dos pais e a distância percorrida pelos estudantes até a escola. O problema toma decisão atribuindo valores a uma variável x_{ij} , que recebe 1 se o estudante i é alocado na escola j ($j \in S$, $i \in C$) e 0 caso contrário. O modelo proposto por Sæmundsen (2014) é definido por:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \left(P_{ij} + \frac{\alpha}{D_{ij}} \right) \quad (1)$$

A função objetivo, expressa pela equação 1, adiciona a utilidade atendendo relativa a preferência dos pais e, também, relativa ao fato dos pais conseguirem viajar a menor distância possível até a escola.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq Cap_j, \quad \forall j \in S \quad (3)$$

As equações 2 e 3 dizem respeito a viabilidade do emparelhamento construído. A expressão 2 assegura que um aluno pode ser atribuído somente a uma única escola, enquanto a inequação 3 garante que as atribuições não excedam a capacidade nominal das escolas.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \sum_{j=1}^m x_{kj}, \quad \forall (i, k) \in C \mid PC_i \leq 0, DB_i > DB_k \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \in C \mid PC_i > 0 \quad (5)$$

As equações 4 e 5 dizem respeito as priorizações do algoritmo. A inequação 4 assegura que a atribuição de um aluno mais velho a uma escola antecede a atribuição de um aluno mais novo, ao tempo que a inequação 5 propõe que, se um estudante possuir prioridade de alocação, este tem garantido uma vaga dentro de uma escola.

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in C, \quad \forall j \in S \quad (6)$$

Por fim, a inequação 6 garante que as condições binárias das variáveis sejam satisfeitas.

4 | MÉTODO DE RESOLUÇÃO PROPOSTO

Para a definição das alocações, desenvolveu-se neste estudo um método de intensificação de soluções que utiliza premissas de priorização baseadas em um critério de adaptação levando em consideração a relação de proximidade entre aluno e escola, os índices de preferência e a idade do aluno. Como fase de diversificação do conjunto de soluções, o método proposto utiliza a metaheurística *Iterated Local Search* (ILS). O ILS é um método de simples implementação que consegue retornar bons resultados para problemas de otimização combinatória. A estratégia deste método é baseada na construção de sequências de ótimos locais por meio de perturbações na solução corrente e a aplicação de um método de busca local na nova solução gerada

(LOURENÇO, MARTIN e STÜTZLE, 2003).

Primeiramente, vale ressaltar que para a etapa de construção de soluções viáveis utilizou-se estratégias possuindo natureza gulosa de construção dado a facilidade e eficiência de sua implementação. O método proposto, mesmo com sua simplicidade de aplicação, trouxe resultados satisfatórios, que serão apresentados na Seção 5. O processo decisório do algoritmo construtivo proposto é mostrado na Figura 1.

Partindo das soluções iniciais obtidas através da heurística construtiva, foi desenvolvido um movimento de busca em vizinhança que consiste em analisar o nível de adaptação dos alunos e os critérios requeridos pelo problema. Com esse movimento, o algoritmo proposto decide pelas iterações dos estudantes nas soluções obtidas, permitindo a análise dos graus

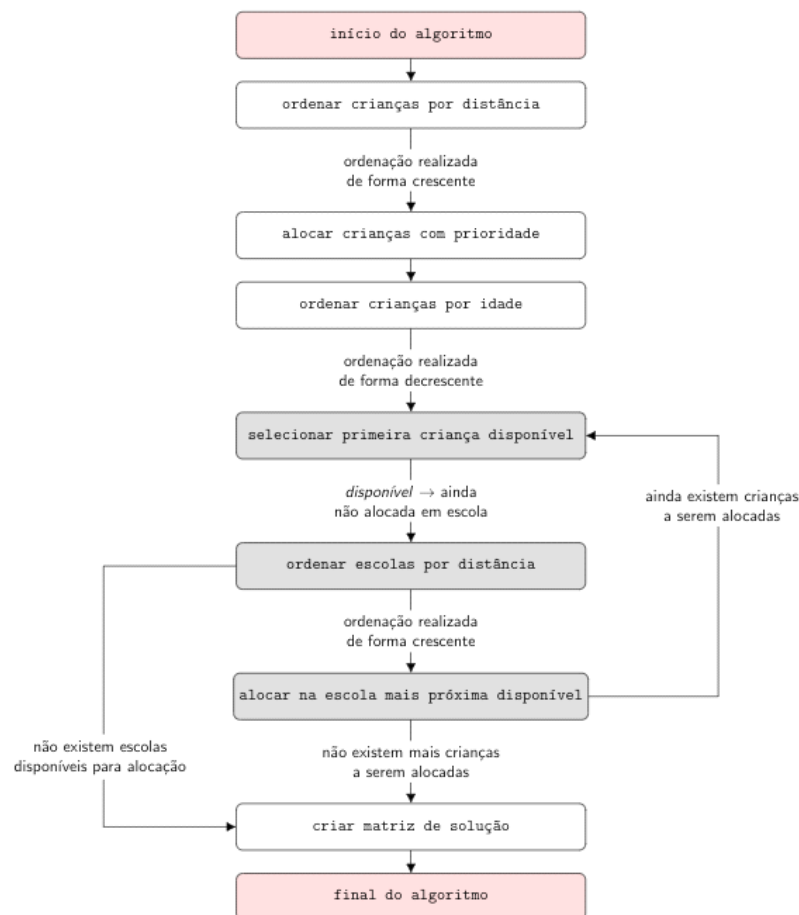


Figura 1. Funcionamento do algoritmo construtivo proposto

Fonte: Os autores (2018)

de adaptação relacionados aos alunos já alocados e, também, aos alunos que estão com status de remanescente. O processo decisório da busca local proposta é mostrado na Figura 2.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os métodos propostos, bem como a codificação do modelo exato do problema,

foram elaborados utilizando a linguagem de programação Python 2.7. Para a resolução do método exato, o solver Gurobi versão 6.5.2 foi utilizado. Os testes foram executados em um servidor Intel i7 contendo 4 núcleos de 3.6GHz e 16 GB de memória RAM, utilizando sistema operacional Windows 10.

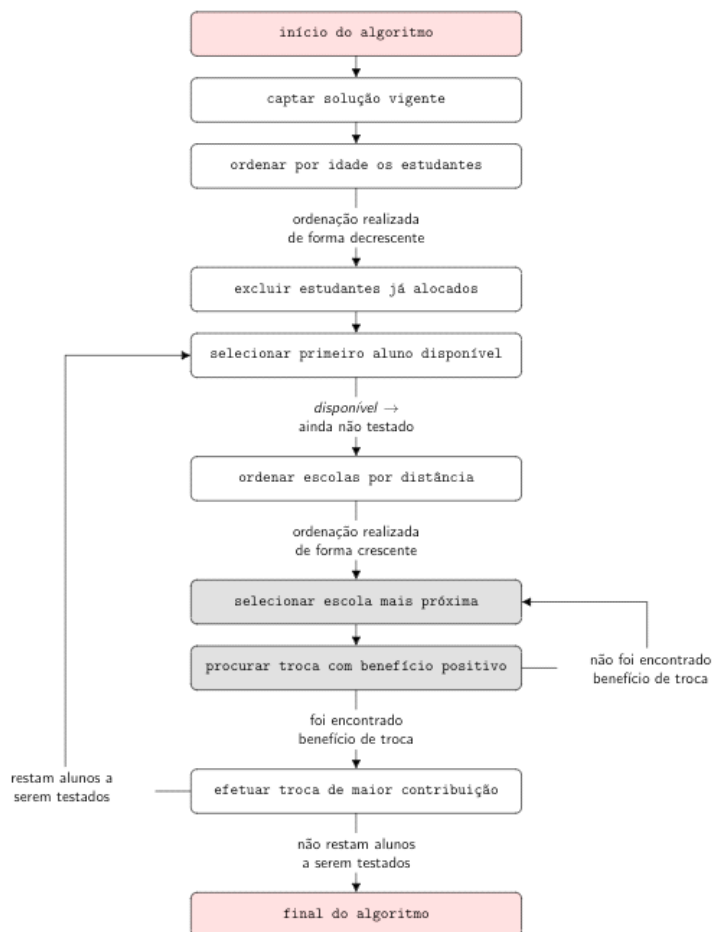


Figura 2. Funcionamento do algoritmo de busca em vizinhança proposto

Fonte: Os autores (2018)

De forma a comparar os resultados obtidos pelo método proposto neste estudo, o método exato proposto por Sæmundsen (2014) foi utilizado, sendo ambos os métodos de resolução aplicados em instâncias idênticas. As dimensões das instâncias são variadas em âmbitos de número de escolas e alunos, bem como também se alternam os parâmetros de preferência relacionados.

Para cada dimensão utilizada, criou-se vinte instâncias de modo a identificar o comportamento médio do algoritmo frente a mudanças dos índices de distâncias, prioridades e número de vagas disponibilizadas pelas escolas. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos em relação à três dimensões de instâncias.

Dimensão 1 (03, 0100)			Dimensão 2 (24, 1600)			Dimensão 3 (75, 5000)		
Best Sol.	Sol. Found	GAP	Best Sol.	Sol. Found	GAP	Best Sol.	Sol. Found	GAP
67,00	67,00	0%	1.069,00	1.051,00	2%	4.571,05	4.377,18	4,43%
85,02	81,59	4%	1.479,48	1.377,05	7%	3.935,98	3.843,66	2,40%
73,03	72,56	1%	1.770,08	1.602,91	10%	4.393,68	4.241,79	3,58%
77,32	74,93	3%	1.179,00	1.138,00	4%	2.849,00	2.844,00	0,18%
52,00	48,00	8%	1.648,72	1.534,65	7%	3.238,00	3.199,00	1,22%
80,22	75,08	7%	907,00	903,00	0%	3.666,00	3.484,00	5,22%
65,99	62,77	5%	1.696,13	1.601,39	6%	3.556,00	3.405,00	4,43%
78,63	78,23	1%	1.068,00	1.045,00	2%	3.171,00	3.151,00	0,63%
57,00	57,00	0%	1.169,00	1.106,00	6%	3.718,00	3.555,00	4,59%
72,71	70,65	3%	1.631,46	1.538,88	6%	3.160,00	3.135,00	0,80%
57,00	57,00	0%	1.149,00	1.099,00	5%	3.312,00	3.251,00	1,88%
72,00	69,00	4%	1.521,03	1.451,38	5%	3.726,47	3.656,68	1,91%
74,00	74,00	0%	1.674,65	1.618,59	3%	4.088,32	4.024,89	1,58%
81,66	81,32	0%	1.399,12	1.351,86	3%	3.395,00	3.321,00	2,23%
67,77	66,45	2%	1.726,98	1.651,23	5%	3.431,00	3.364,00	1,99%
53,00	53,00	0%	958,00	953,00	1%	2.839,00	2.832,00	0,25%
97,05	91,82	6%	1.162,00	1.131,00	3%	4.436,15	4.240,26	4,62%
68,00	68,00	0%	931,00	931,00	0%	4.155,61	4.044,98	2,73%
78,23	77,51	1%	1.183,00	1.130,00	5%	2.930,00	2.928,00	0,07%
66,57	66,40	0%	1.640,92	1.557,07	5%	4.282,95	4.167,86	2,76%
67,00	64,00	5%	1.185,00	1.145,00	3%	3.250,00	3.206,00	1,37%
87,42	85,71	2%	1.395,13	1.324,43	5%	4.115,52	4.001,52	2,85%
78,18	74,95	4%	1.217,00	1.175,00	4%	4.568,52	4.379,09	4,33%
79,70	78,92	1%	1.126,00	1.077,00	5%	3.651,00	3.496,00	4,43%

Tabela 2. Resultados obtidos para as dimensões (03, 0100), (24, 1600) e (75, 5000)

Fonte: Os autores (2018)

Como é observado na Tabela 2, para instâncias em que o processo de decisão é de menor complexidade o método proposto obtém solução ótima para diversas instâncias, como por exemplo nas instâncias de dimensão (03, 0100). Conforme aumenta-se a complexidade de decisão, o número de soluções ótimas encontradas diminui. Ainda assim, os GAPs encontrados são baixos.

Observa-se também que o método possui baixa oscilação quanto aos resultados obtidos, em geral, não se encontrando soluções distantes da solução ótima. Esta afirmação é melhor evidenciada na Tabela 3, que mostra o GAP médio para cada dimensão de instância, bem como o desvio padrão das soluções obtidas.

Tipo de Instância	GAP Médio	Stand Dev.
Dimensão (02, 0050)	2,77%	6,39%
Dimensão (03, 0100)	2,39%	2,55%
Dimensão (25, 1000)	3,67%	2,07%
Dimensão (24, 1600)	4,09%	2,17%
Dimensão (75, 5000)	2,53%	1,59%

Tabela 3. GAP médio e desvio padrão das soluções obtidas, por dimensão de instância

Fonte: Os autores (2018)

A Tabela 3 mostra que mesmo com a variação da dimensão das instâncias, o GAP médio obtido se mantém estável e obtendo baixos resultados. Mostra-se também que o algoritmo possui baixa variação quanto os diferentes problemas resolvidos em cada dimensão utilizada, o que pode ser verificado observando-se os baixos índices de desvio padrão obtidos.

Deste modo, podemos inferir a partir das Tabelas 2 e 3 que o método proposto gera resultados não muito distantes da solução ótima para as instâncias tratadas e, em geral, não possui grandes oscilações com a variação de instâncias. Observa-se também que a aplicação dos métodos de intensificação e diversificação propostos geram um nível relativo de estabilidade do algoritmo, mantendo os resultados com pouco desvio percentual independentemente da variação do porte das instâncias e parâmetros utilizados.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que os experimentos realizados neste estudo obtiveram resultados satisfatórios, ao ponto que o método proposto gerou resultados muito próximos às soluções ótimas para as instâncias tratadas com a utilização de baixo esforço computacional. Para soluções de menor nível de complexidade o algoritmo proposto encontra soluções ótimas em diversos dos casos avaliados, se mostrando uma boa opção principalmente para municípios de menor porte. Observa-se também que o método proposto possui baixa variabilidade quanto a geração de soluções finais, demonstrando um bom comportamento no processo decisório de alocação de alunos em escolas, mesmo com o aumento da complexidade dos problemas tratados.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, David J.; IRVING, Robert W.; MANLOVE, David F. Two algorithms for the student-project allocation problem. **Journal of Discrete Algorithms**, v. 5, n. 1, p. 73-90, 2007.

AGOSTON, Kolos Csaba; BIRÓ, Péter; SZÁNTÓ, Richárd. Stable project allocation under distributional constraints. **arXiv preprint arXiv:1711.04484**, 2017.

- ANTUNES, Antonio; PEETERS, Dominique. A dynamic optimization model for school network planning. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 34, n. 2, p. 101-120, 2000.
- ANWAR, Arif A.; BAHAJ, A. S. Student project allocation using integer programming. **IEEE TransactionsonEducation**, v. 46, n. 3, p. 359-367, 2003.
- CASTILLO-LÓPEZ, Iván; LÓPEZ-OSPINA, Héctor A. School location and capacity modification considering the existence of externalities in students school choice. **Computers & Industrial Engineering**, v. 80, p. 284-294, 2015.
- CHIARANDINI, Marco; FAGERBERG, Rolf; GUALANDI, Stefano. Handling preferences in student-project allocation. **AnnalsofOperationsResearch**, p. 1-40, 2018.
- COHEN-ZADA, Danny; GRADSTEIN, Mark; REUVEN, Ehud. Allocation of students in public schools: Theory and new evidence. **Economics of Education Review**, v. 34, p. 96-106, 2013.
- DELGADO, Victor Maia Senna. **Alocação dos alunos nas escolas: uma abordagem de algoritmos de pareamento para análise do efeito do cadastro escolar de Belo Horizonte na proficiência dos estudantes**. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado-Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional Faculdade de Ciências Econômicas, 2013.
- DYE, Jonathan. A constraint logic programming approach to the stable marriage problem and its application to student-project allocation. **BSc Honours project report, University of York, Department of Computer Science**, 2001.
- FERNANDES, Gustavo A. A. L. **O problema das matrículas escolares: uma discussão sobre a melhoria das regras utilizadas em São Paulo**. FórumPerspectivasPráticas, 2018.
- FERREIRA, Sergio G.; VELOSO, Fernando. A reforma da educação. **PINHEIRO, AC; GIAMBIAGI, F. Rompendo o marasmo: a retomada do desenvolvimento no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- FONSECA, Frederico T.; ZUPPO, Carlos A. Fim das filas para matrícula em escola pública. **Espaço BH: trabalho, tecnologia e informação na administração municipal**, I (1), pp. 15-20, 1997.
- GALE, David; SHAPLEY, Lloyd S. College admissions and the stability of marriage. **The American MathematicalMonthly**, v. 69, n. 1, p. 9-15, 1962.
- GUSFIELD, Dan; IRVING, Robert W. **The stable marriage problem: structure and algorithms**. MIT press, 1989.
- HANUSHEK, Eric A. The economics of schooling: Production and efficiency in public schools. **Journalofeconomicliterature**, v. 24, n. 3, p. 1141-1177, 1986.
- IRVING, Robert W.; LEATHER, Paul. The complexity of counting stable marriages. **SIAM JournalonComputing**, v. 15, n. 3, p. 655-667, 1986.
- IWAMA, Kazuo; MIYAZAKI, Shuichi; YANAGISAWA, Hiroki. Improved approximation bounds for the student-project allocation problem with preferences over projects. **Journal of Discrete Algorithms**, v. 13, p. 59-66, 2012.
- KNUTH, Donald Ervin. **Mariages stables et leurs relations avec d'autresproblèmescombinatoires**. Presses de l'Université de Montréal, 1976.
- LOURENÇO, Helena R.; MARTIN, Olivier C.; STÜTZLE, Thomas. Iterated local search. In: **Handbook of metaheuristics**. Springer, Boston, MA, p. 320-353, 2003.
- MADEIRA, Felícia Reicher. Educação e desigualdade no tempo de juventude. **Transição para a vida adulta ou vida adulta em transição**, p. 139-170, 2006.

MANLOVE, David F.; O'MALLEY, Gregg. Student-project allocation with preferences over projects. **Journal of Discrete Algorithms**, v. 6, n. 4, p. 553-560, 2008.

MARQUES, Daniel da Silva; PEREIRA, Caio Ronan Lisboa; CAGGY, Almir Lima. Alocação de demanda escolar usando tecnologia SIG. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, CE, 2015.

MHILIWA, Joseph Anthon. **The effects of school location on learner's academic performance: a case of community secondary schools in Makambako Town Council, Njombe**. Dissertação de mestrado. Universidade da Tanzânia, 2015.

NDIAYE, Fagueye; NDIAYE, Babacar Mbaye; LY, Idrissa. Application of the P-Median problem in school allocation. **American Journal of Operations Research**, v. 2, n. 02, p. 253, 2012.

OLIVEIRA, Anderson Velasco; PESSOA, Artur Alves; ROBOREDO, Marcos Costa. Otimização da distribuição de estudantes em escolas públicas de um distrito do município de São Gonçalo – RJ. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, CE, 2015.

PINTO, Marcus Vinicius. Cadastramento escolar: democratização do acesso à escola pública. **Informática Pública**, v. 1, n. 2, p. 139-156, 1999.

SÆMUNDSSEN, Skúli Magnús et al. **Integer and stable marriage models for assignments to preschools**. Tese de Doutorado, 2014.

SAMBINELLI, Maycon. **Problemas de emparelhamentos estáveis**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 2014.

WOESSMANN, Ludger. Educational production in Europe. **Economic policy**, v. 20, n. 43, p. 446-504, 2005.

WOESSMANN, Ludger; WEST, Martin. Class-size effects in school systems around the world: Evidence from between-grade variation in TIMSS. **European Economic Review**, v. 50, n. 3, p. 695-736, 2006.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-087-2

