

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS SENADOR HELVÍDIO NUNES DE BARROS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE O PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA
MULTIOBJETIVO**

LUCAS BENJAMIM DE FREITAS MOURA

**Picos-PI
2017**

LUCAS BENJAMIM DE FREITAS MOURA

**MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE O PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA
MULTIOBJETIVO**

Monografia submetida ao Curso de Bacharelado de Sistemas de Informação como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientadora: Ma. Prof. Patrícia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí

Biblioteca José Albano de Macêdo

M929m Moura, Lucas Benjamim de Freitas.

Mapeamento sistemático sobre o problema da árvore geradora multiobjetivo / Lucas Benjamim de Freitas Moura.– 2017.

CD-ROM : il.; 4 ¾ pol. (28f.)

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2016.

Orientador(A): Prof.^a Ma. Patrícia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond

1. Árvore Geradora Multiobjetivo. 2. Otimização Multiobjetiva. 3. Mapeamento Sistemático. I. Título.

CDD 005

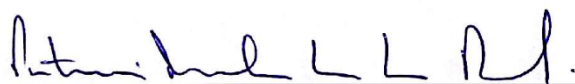
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE O PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA
MULTIOBJETIVO

LUCAS BENJAMIM DE FREITAS MOURA

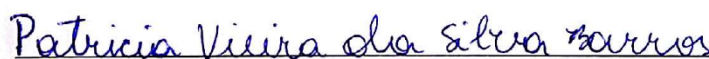
Monografia aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

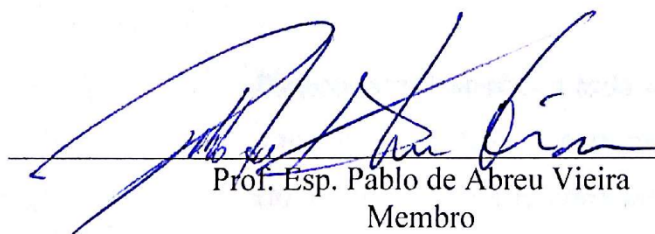
Picos – PI, 18 de Janeiro de 2017



Prof.^a. Ma. Patrícia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond
Orientador



Prof.^a. Ma. Patricia Vieira da Silva Barros
Membro



Prof. Esp. Pablo de Abreu Vieira
Membro

Dedico este trabalho a toda minha família, amigos e aquelas pessoas especiais que direta ou indiretamente contribuíram para que eu o concluísse. Em especial queria dedica-lo a minha tia, Maria Laís Dias de Freitas que consegue enxergar em mim o potencial que nem eu mesmo enxergo e fez do meu sonho de ter uma graduação, o seu.

AGRADECIMENTOS

A Deus que é o meu pilar de sustentação, é quem me mantém firme e me dá forças para enfrentar as dificuldades da vida.

A minha professora e orientadora Patrícia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond, por toda assistência prestada e que apesar da distância não mediu esforços para a conclusão deste trabalho.

Aos professores, amigos e colegas do curso de sistemas de informação do campus Senador Helvídio Nunes de Barros, por toda a convivência, conhecimento e sabedoria compartilhados.

A minha família, tantos os mais distantes quanto os mais próximos, pela disposição em me ajudar e pelas orações.

As minhas três mães, Francisca Dias de Freitas, Maria Laís Dias de Freitas e Aldenora Dias Freitas, pelo amor incondicional, pela dedicação, esforço, pelas horas de sono perdidas com preocupações, pelas brigas, puxões de orelha, pelos ensinamentos e apesar de todas as dificuldades nunca me deixaram faltar nada.

Aos meus primos Julimar Calisto de Freitas e Pedro Dias de Freitas Júnior, pelo companheirismo, amizade, amor e por toda ajuda prestada para que eu pudesse chegar até aqui, nunca esquecerei do que fizeram por mim.

A minha irmã, Mara Suellem de Freitas Moura, por toda a experiência compartilhada, pelo companheirismo, pela ajuda nas horas de aperto e por simplesmente ser a pessoa que é, por ser meu modelo, minha inspiração e meu motivo de querer vencer mais e mais cada dia que passa.

Aos meus amigos de uma vida e aos mais recentes que me apoiaram desde início, sempre incentivando e não me deixando baixar a cabeça, as noites de conversas, conselhos, pelo acolhimento em suas casas e apartamentos quando precisei.

RESUMO

Os problemas clássicos de otimização servem de modelo para diversos problemas reais, por exemplo, o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo serve para modelar projetos de redes de infraestrutura de água, energia, sinal de TV, gás, esgoto, etc. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um mapeamento sistemático sobre o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo. O estudo é realizado através de uma pesquisa detalhada do assunto afim de encontrar artigos relevantes sobre o tema principal, analisa-los e expor os resultados finais. Ao final é debatida a relevância da pesquisa em relação a ajuda prestada para futuros trabalhos que englobem árvores e/ou algoritmos de otimização, afinal o mapeamento sistemático mostra o que cada fonte oferece de conteúdo sobre o tema, podendo facilitar em estudos futuros dessa mesma área.

Palavras-chave: Árvore Geradora Multiobjetivo; Otimização Multiobjetiva; Mapeamento Sistemático.

ABSTRACT

The classical optimization problem serves as a model for several real problems. For example, the Multiobjective Tree Generation problem is used to model projects of water, energy, TV, gas, sewage, etc. infrastructure networks. The present work aims to develop a systematic mapping on the Multiobjective Tree Generation problem. The study is conducted through a detailed research of the subject in order to find relevant articles on the main theme, analyze them and present the final results. Finally, the relevance of the research in relation to the help provided for future works that include trees and / or optimization algorithms is discussed, after which the systematic mapping shows what each source offers of content on the theme, being able to facilitate in future studies of that same area .

Keywords: Multiobjective Generating Tree; Multiobjective Optimization; Systematic Mapping

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E QUADROS

Gráfico 1 - Gráfico com número de publicações em cada ano.

Gráfico 2 – Classificação da importância por número citações.

Quadro 1 – Algoritmos e métodos aplicados ao problema da AGMO.

Quadro 2 – Aplicação do problema da AGMO em situações do cotidiano.

Quadro 3 – Ano em foi publicado um estudo por cada conferência ou periódico.

Quadro 4 – Número de citações de cada estudo selecionado desde sua publicação.

Quadro 5 – Nomenclaturas para a AGMO.

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AGM	Árvore Geradora Mínima
AGMO	Árvore Geradora Multiobjetivo
AGBi	Árvore Geradora Biobjetivo
STP	<i>Spanning Tree Problem</i>
MOSTP	<i>Multi Objective Spanning Tree Problem</i>
EMST	<i>Euclidean minimum spanning tree</i>
MOP	<i>Multi Objective Problem</i>
EPDA	<i>Extreme Point Deterministic Algorithm</i>
EJOR	<i>European Journal of Operational Research</i>
IJC	<i>Inform Journal on Computing</i>
TSSE	<i>The School of Systems Engineering</i>
RJAS	<i>Research Journal of Applied Sciences, E&T</i>
EC	<i>Evolutionary computation</i>
OL	<i>Optimization Letters</i>
VLSI	<i>Very-large-scale integration</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo do estudo	11
1.2	Organização do trabalho	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Teoria dos grafos e Árvores	13
2.2	O problema da Árvore Geradora Multiobjetivo (AGMO)	14
2.3	Mapeamento Sistemático	15
2.4	Trabalhos Relacionados	16
3	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE O PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA MULTIOBJETIVO	18
3.1	Metodologia	18
3.1.1	OBJETIVO DO MAPEAMENTO	18
3.1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	19
3.1.3	PALAVRAS-CHAVE	19
3.1.4	RESTRIÇÕES DA PESQUISA	20
3.1.5	SELEÇÃO DE FONTES	20
3.1.6	SELEÇÃO DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS	20
3.1.7	MÉTODO DE EXTRAÇÃO DE DADOS	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1	Resultados obtidos para a questão 1	22
4.2	Resultados obtidos para a questão 2	22
4.3	Resultados obtidos para a questão 3	23
4.4	Resultados obtidos para a questão 4	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

Muitas situações do dia-a-dia podem ser descritas por um conjunto de objetos que se relacionam entre si: rotas turísticas, mapeamento de rodovias, esquema de abastecimento de uma cidade, o simples caminho da sua casa ao trabalho, etc. Todas essas situações podem ser vistas como exemplos de grafos, melhor abordados no capítulo seguinte, sendo modeladas a partir deste conceito para busca de soluções utilizando problemas clássicos de otimização.

No caso específico do problema da Árvore Geradora Multiobjetivo, mais de um critério tem que ser levado em conta para otimizar, como, por exemplo, projetos de redes de infraestrutura, onde o custo de instalação das redes não é o único critério a ser levado em consideração, mas também objetivos relacionados à segurança, aos impactos ambientais, à confiabilidade da rede, dentre outros.

O problema da Árvore Geradora Multiobjetivo vem despertando o interesse de pesquisadores da área de pesquisa operacional por ser classificado como um problema NP-Difícil¹ e por apresentar inúmeras aplicações práticas na área de transportes, energia, telecomunicações, biologia molecular e agrupamento de dados (HAOUARI; CHAOUACHI, 2006).

1.1 Objetivo do estudo

Este trabalho tem como objetivo fazer um Mapeamento Sistemático de artigos visando identificar estudos relacionados ao problema da Árvore Geradora Multiobjetivo e responder questões sobre tendências de pesquisas da área.

1.2 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos além deste. No capítulo 2, encontram-se as definições de problema de otimização multiobjetivo e problema da árvore geradora multiobjetivo, alguns conceitos relevantes acerca dos problemas e definições importantes sobre mapeamento sistemático. No capítulo 3 estará a definição do trabalho, o método que será utilizado e como será utilizado, enfatizando

¹ NP-Difícil são problemas tão difíceis quanto os problemas mais difíceis em NP.

os pontos mais importantes da pesquisa. O capítulo 4 é composto por uma análise dos resultados finais do mapeamento e uma discussão sobre os mesmos. No capítulo 5 está presente uma conclusão baseada na análise dos resultados do mapeamento. Por fim as referências bibliográficas utilizadas nesse estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os conceitos relacionados com o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo (AGMO), desde a definição de grafos até a análise do problema propriamente dito. Variações e aplicações do problema da AGMO também são discutidas neste capítulo.

2.1 Teoria dos Grafos e Árvores

Um grafo é um par $(V;A)$ em que V é um conjunto arbitrário e A é um subconjunto de $V \times V$. Os elementos de V são chamados vértices e os de A são chamados arestas (FEOFILOFF *et. al.*, 2011). Neste trabalho, vamos nos restringir a grafos em que o conjunto de vértices é finito.

Imagine um grafo $G(V,E)$ e subgrafo de G chamado T . Se nesse subgrafo existir somente um caminho possível para cada um de seus vértices e esses caminhos não formarem ciclos (acíclico), esse subgrafo é chamado de árvore. Se em T estiver todos os vértices do grafo G , então T é conhecido como Árvore Geradora. Considerando que as arestas do grafo G são valoradas, se em T , que é uma Árvore Geradora de G , o custo para ir de um vértice a outro seja sempre o menor, ou seja, siga sempre pelo menor caminho, é chamado de Árvore Geradora Mínima (AGM).

Segundo Goldberg e Luna (2002), o problema da Árvore Geradora Mínima pode ser descrito da seguinte forma: considere uma rede não direcionada, conectada e associada a cada arco um valor (peso, tempo, etc.) não negativo, o objetivo é encontrar o caminho mais curto de tal maneira que os arcos forneçam um caminho entre todos os pares de nós. O problema da AGM tem sido amplamente discutido na literatura, apresentando diversas aplicações práticas em *layout* de VLSI e projeto de redes de comunicação sem fio e redes de distribuição (BADER; CONG, 2004).

Dentro da área de grafos, existem vários problemas clássicos que podem modelar problemas do cotidiano, como exemplo, o problema de encontrar a Árvore Geradora Mínima aparece em uma série de aplicações, ou como subproblemas destas. A instalação de linhas telefônicas (ou elétricas) entre um conjunto de cidades utilizando a infraestrutura das rodovias com o menor uso de material. Outros

problemas como análise de clusters² e armazenamento de informações, dentre outros podem ser tratados por esta modelagem que possui eficientes algoritmos³ como Kruskal, Prim e Sollin (AHUJA *et. al.*, 1993).

2.2 O problema da Árvore Geradora Multiobjetivo (AGMO).

Existem problemas do cotidiano que necessitam otimizar mais de um critério. Observe que, num projeto de roteamento de veículos, deve-se otimizar a rota, levando-se em consideração os critérios de custo do desenvolvimento do projeto e a rota. Nem sempre, a menor rota tem o menor custo, e vice-versa. Nesse caso será preciso usar um outro tipo de estrutura, as Árvores Geradoras Multiobjetivo.

Numa Árvore Geradora Multiobjetivo deve-se considerar vários parâmetros em cada aresta, ou seja, em vez de ter apenas um valor de custo nas arestas, como nas AGM para calcular o custo mínimo é necessário considerar todos valores dos pesos das arestas. Porém, isso pode levar a situações conflitantes, pois otimizar um dos critérios, nem sempre otimiza os outros.

Imagine um sistema que calcula qual a melhor rota para ir de uma cidade A até a cidade B. De início, a primeira coisa que vem na mente é que a resposta seria menor caminho. Porém o menor caminho, nesse caso, pode não ser o melhor, afinal tem-se os fatores trânsito, condições da estrada, etc, que também são relevantes para o cálculo.

Considere que o menor caminho entre as cidades A e B seja de 80km e que por esse caminho, a uma velocidade razoável, sejam necessários 55 minutos para percorre-lo. No entanto, existe outro caminho com extensão de 90km e que seriam necessários apenas 48min para ser percorrido com a mesma velocidade. A função da AGMO é justamente essa, considerar mais de um fator, mais de uma condição e otimiza-las da melhor forma possível.

AGM modela diversos problemas de interesse prático e teórico (BAZLAMAÇCI; HINDI, 2001). Entretanto, neste problema cada aresta está associada não só a um custo, mas também a uma outra condição relevante, fato que impede que

² Clusters são basicamente sistemas que relacionam dois ou mais computadores para que estes trabalhem de maneira conjunta no intuito de processar uma tarefa.

³ Um algoritmo é uma série de instruções bem definidas e não ambíguas que descrevem explicitamente várias operações.

vários problemas encontrados no mundo real possam ser tratados e fornecer boas soluções quando modelados via AGM, por isso se faz necessário o uso das AGMO. Devido à complexidade do problema e alta aplicabilidade, vários trabalhos têm sido dedicados ao problema da árvore geradora biobjetivo⁴ (AGBi).

2.3 Mapeamento Sistemático

O mapeamento sistemático é um tipo de revisão sistemática, onde se realiza uma revisão mais ampla dos estudos primários, em busca de identificar quais evidências estão disponíveis, bem como identificar lacunas no conjunto dos estudos primários onde seja direcionado o foco de revisões sistemáticas futuras e identificar áreas onde mais estudos primários precisam ser conduzidos (KITCHENHAM, 2004).

O estudo de mapeamento sistemático fornece uma visão geral de uma área de pesquisa, identificando a quantidade, os tipos de pesquisas realizadas, os resultados disponíveis, além das frequências de publicações ao longo do tempo para identificar tendências (PETERSEN *et. al.*, 2008).

As revisões sistemáticas e os estudos de mapeamento sistemático seguem um método específico e peculiar, que começam pela definição de um protocolo de revisão e resume as etapas de uma revisão sistemática em três fases principais: planejamento, condução e apresentação (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

A fase de planejamento é a primeira fase do mapeamento sistemático e foca na necessidade de um protocolo detalhado para descrever o processo e os métodos que serão aplicados. O protocolo é o instrumento que consolida todas as definições desta fase. Identificar as questões da pesquisa traduz-se como o ponto mais importante da etapa de planejamento do Mapeamento, pois toda pesquisa será limitada pelo escopo da questão a ser respondida (COSTA, 2010).

A realização de uma revisão deve estar assegurada pela sua necessidade e o protocolo formulado deve abordar alguns pontos: objetivo da revisão; as questões de pesquisa; o escopo e as restrições da pesquisa; as fontes pesquisadas na busca dos estudos primários; a identificação de palavras-chave; a geração de *strings* de busca; os critérios definidos de inclusão/exclusão e como serão aplicados na seleção

⁴ Árvore Geradora Biobjetivo é uma exemplo de árvore onde o seu objetivo principal é otimizar no máximo dois critérios, ou seja arestas com no máximo dois pesos.

dos estudos; a avaliação dos estudos primários; o processo de extração de dados e como eles serão sintetizados. Além disso, o protocolo de revisão deve ser avaliado para garantir que o planejamento é viável (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

As etapas de seleção dos estudos primários, de extração e de avaliação dos dados constituem a fase de execução do mapeamento sistemático. A última etapa do mapeamento sistemático consiste, de acordo com a análise e síntese dos dados, na escrita do relatório do mapeamento.

2.4 Trabalhos Relacionados

Vários trabalhos sobre o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo são encontrados na literatura. Dentre estes, os que mais se aproximaram do objetivo principal desde estudo são:

Steiner e Radzik (2003) consideraram um método de duas fases para calcular o conjunto completo de soluções do problema Árvore Geradora Biobjetivo. A primeira fase calcula as soluções extremamente eficientes expandindo o casco convexo do espaço viável. A segunda fase aplica repetidamente um melhor algoritmo de Árvore Gerador Mínima k para encontrar todas as soluções eficientes não-extremas.

Neumann (2007) apresentou a primeira análise em tempo de execução de um algoritmo evolutivo multiobjetivo em um problema NP-Árduo. O assunto da análise é voltado para o problema de Árvore Geradora Multiobjetivo para o qual foi fornecido limites superiores no tempo esperado até que um algoritmo evolutivo simples tenha produzido uma população incluindo para cada ponto extremo da frente de Pareto⁵ uma árvore geradora correspondente.

O trabalho de Sourd e Spanjaard (2008) enfoca uma derivação multiobjetivo de procedimentos de ramificação e encadernação. Tal procedimento teve como objetivo fornecer o conjunto de soluções ótimas de um problema de otimização combinatória multiobjetivo.

Davis-moradkhan (2010) propôs um Algoritmo determinístico de Extremo Ponto (*Extreme Point Deterministic Algorithm*) para o problema da AGMO que fosse aplicável a mais de dois critérios e que pudesse determinar grandes frentes de Pareto

⁵ Frente de Pareto está ligado a otimização de situações econômicas, no sentido de que ela é ótima se não for possível melhorar a situação de um agente, sem degradar a situação de qualquer outro agente econômico.

compreendendo soluções eficientes suportadas e não suportadas, ao contrário de muitos algoritmos existentes.

Percebendo que o algoritmo de formiga⁶ (*Ant Algorithm*) tem uma vantagem incomparável que é demonstrada em problemas de otimização combinatória, Li *et al.* (2013) realizaram um estudo sobre o Problema da Árvore Geradora Multiobjetivo usando um algoritmo de formiga como base.

Fernández *et al.* (2016) propuseram uma função objetivo mediana ordenada (*Ordered Weighted Average*) que foi utilizada como operador de média para agregar o vetor de valores objetivos de soluções viáveis. Estas formulações foram analisadas e foram apresentados vários aperfeiçoamentos. Seu desempenho empírico foi testado em um conjunto de instâncias de referência geradas aleatoriamente.

Li *et al.* (2014) explorou as propriedades de Árvores Geradoras Euclidianas (EMST) e propôs uma variação baseada em um algoritmo evolucionário para resolver problemas de otimização multiobjetivo (MOPs). Ao contrário da maioria dos algoritmos evolucionários de otimização multiobjetiva que se concentram na relação de dominância de Pareto, eles propuseram um algoritmo que considera principalmente medidas baseadas na distância para avaliar e comparar indivíduos durante a pesquisa evolutiva. A estrutura do algoritmo era baseada em quatro estratégias.

Visto que a literatura científica fornece vários trabalhos que se concentram na versão biobjetiva do problema da AGMO, em que apenas dois critérios são levados em conta. Pugliese (2015) propôs uma formulação de programação dinâmica para o problema da árvore de expansão (STP), que permite que várias instâncias do STP clássico sejam endereçadas. O objetivo do trabalho foi estender a formulação de programação dinâmica proposta para modelar e resolver o *Multi Objective Spanning Tree Problem* (MOSTP) com 3 ou mais critérios.

Após a leitura dos trabalhos citados nesta seção, é possível notar que o problema da AGMO se trata de um estudo complexo e que ainda requer bastante pesquisa na área. Nos trabalhos selecionados foi possível observar que há uma certa dificuldade quando o assunto é otimizar mais de dois critérios usando a AGMO. Este trabalho apresenta informações relevantes sobre o problema em questão visando auxiliar em pesquisas futuras.

⁶ Algoritmo de formigas é uma heurística baseada em probabilidade, criada para solução de problemas computacionais que envolvem procura de caminhos em grafos

3 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE O PROBLEMA DA ÁRVORE GERADORA MULTIOBJETIVO

Esta pesquisa conduziu o mapeamento sistemático com a intenção de realizar uma catalogação bibliográfica e a análise do problema da Árvore Geradora Multiobjetivo através da busca e análise do maior número de trabalhos primários relevantes e reconhecidos a fim responder as questões de pesquisa.

3.1 Metodologia

O mapeamento sistemático do problema da AGMO iniciou primeiramente com a definição do problema de busca, a definição do objetivo do mapeamento e as questões de pesquisa. Em seguida foram definidas as palavras-chave, que são *strings* de busca seriam utilizadas na pesquisa de artigos sobre o tema selecionado. Para refinar a pesquisa foram definidas restrições, com o intuito de selecionar trabalhos mais ricos de fontes mais relevantes. O último passo para começar a pesquisa foi definir as fontes. Após realizar a pesquisa, começa a procura pelos estudos primários. Por fim foi elaborado o método de extração de dados, que caracteriza como foi todo o processo de pesquisa, análise e escolha desses estudos.

3.1.1 OBJETIVO DO MAPEAMENTO

Este estudo de mapeamento sistemático teve o objetivo de identificar abordagens para solucionar o problema da AGMO, no contexto de otimização de algoritmos. No mapeamento sistemático, qualquer pessoa que seguir os mesmos passos descritos na metodologia é capaz de reproduzir o mesmo trabalho encontrando as pesquisas apresentadas e utilizando os critérios adotados.

Conforme Costa (2010), têm-se a seguinte estrutura para o objetivo do mapeamento sistemático: analisar relatos de experiência e publicações científicas através de um estudo baseado em mapeamento sistemático, com o propósito de identificar abordagens para soluções do problema da AGMO, cuja importância é encontrar resultados aplicáveis a situações do cotidiano. Com relação à definição e melhor resolução para o problema, visando a sua máxima otimização. Do ponto de vista de pesquisadores e comunidade acadêmica. No contexto acadêmico e industrial.

3.1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

As questões a serem respondidas ao final da pesquisa são:

- Questão 1: Que tipos de algoritmos (exato, aproximativo ou heurístico) e métodos são utilizados para solução do Problema da AGMO?
- Questão 2: O Problema da AGMO foi aplicado para modelagem de quais situações do cotidiano?
- Questão 3: Quais conferências e periódicos tem publicado estudos sobre AGMO? Em quais anos? E quais se destacam em números de estudos e citações?
- Questão 4: Que nomenclaturas e abreviações tem o problema da AGMO encontrada?

3.1.3 PALAVRAS-CHAVE

As palavras-chave utilizadas como *strings* de busca foram as seguintes: problema da árvore geradora multiobjetivo; árvore multiobjetivo; otimização multiobjetiva; *multiobjective generator tree optimization*; *multi objective spanning tree*; *spanning tree multi optimization*; *bi objective spanning tree*. Essas *strings* contribuíram para busca dos artigos encontrados.

3.1.4 RESTRIÇÕES DA PESQUISA

Com o objetivo de assegurar a viabilidade da pesquisa, foi definido um conjunto de regras para a mesma, que podem ser descritas por meio da definição de critérios de seleção de fontes. Para a seleção das fontes de pesquisa, foram definidos os seguintes critérios:

- Disponibilidade para consultas *web*;
- Disponibilidade para busca de artigos através do domínio da UFPI;
- Disponibilidade de artigos na íntegra por meio do domínio da UFPI ou a partir da utilização da *engine* de busca Google e/ou Google Scholar;
- Disponibilidade de artigos em inglês ou português;

- Relevância da fonte.

3.1.5 SELEÇÃO DE FONTES

Com base nos critérios de seleção e nas restrições da pesquisa, foram selecionadas as seguintes fontes de pesquisa onde foram realizadas as buscas dos estudos primários, de acordo com a disponibilidade da pesquisa e relevância para o problema da AGMO:

- IEEEXplore Digital Library;
- Periódicos CAPES;
- Scholar Google.

3.1.6 SELEÇÃO DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS

O método utilizado para o levantamento de fontes primárias compreendeu a realização de buscas em bibliotecas digitais de trabalhos científicos (Scholar Google, periódicos CAPES), com o objetivo de entender como a AGMO funciona e como está sendo aplicada nesses trabalhos.

Inicialmente, com a *string* em português “problema da árvore geradora multiobjetiva” as bibliotecas digitais selecionaram artigos pouco relevantes, e foi necessário utilizar a mesma *string* em inglês “*multi objective spanning tree*”. No entanto, ainda apareceram artigos que foram excluídos por não atenderem aos critérios de seleção. Nas buscas primárias realizadas foram selecionados artigos que tratavam do problema específico da *string* de busca e artigos que falavam de variações do problema. Devido a esse fato, muitos artigos não foram considerados relevantes antes da leitura prévia do resumo, pois apenas pelo título já era possível verificar o fato, por exemplo, trabalhos onde utilizavam otimizações multiobjetivas que não eram aplicadas ao problema da AGMO. A partir desta busca primária seguiu-se a pesquisa com o método de extração dos dados.

3.1.7 MÉTODO DE EXTRAÇÃO DE DADOS

A extração dos dados foi realizada como descrito abaixo:

- O pesquisador aplicou a estratégia de pesquisa para identificar potenciais estudos primários. A identificação dos estudos primários foi realizada por meio da leitura do título, do resumo/abstract e das palavras-chave em busca das *strings* de busca.
- Um conjunto de estudos foi selecionado a partir da verificação dos critérios de inclusão e de qualidade. A seleção (inclusão) dos estudos foi realizada por meio de uma leitura superficial dos estudos primários, tendo como foco identificar os critérios estabelecidos, ou seja, primeiramente se a pesquisa era na área do problema da AGMO. O segundo critério utilizado foi se o estudo apresentava uma solução (algoritmo) para o problema, caso apenas tratasse do problema como um problema de otimização sem apresentar resultados e soluções, o artigo era descartado.
- Todos os estudos incluídos como resultados da pesquisa inicial foram revisados, inteira e minuciosamente pelo pesquisador.
- Os resultados foram revisados pelo o pesquisador envolvido e classificados de acordo com as questões definidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são respondidas as questões de pesquisa determinadas no planejamento do trabalho. Dos 10 estudos selecionados, 8 deles abordaram algoritmos ou métodos aplicáveis ao problema da AGMO.

4.1 Resultados obtidos para a questão 1

Para responder a pergunta: Que tipos de algoritmos (exato, aproximativo ou heurístico) e métodos são utilizados para solução do Problema da AGMO? Foram analisados todos os estudos selecionados. Após análise, 8 algoritmos ou métodos foram encontrados que satisfazem os critérios da questão.

Quadro 1 – Algoritmos e métodos aplicados ao problema da AGMO.

Id	Título	Referência
1	<i>Multi-objective evolutionary algorithm</i>	[15]
2	<i>Two-phase method</i>	[20]
3	<i>Multi-objective branch-and-bound</i>	[19]
4	<i>Ordered Weighted Average optimization</i>	[7]
5	<i>Dynamic programming for STP</i>	[16]
6	<i>Extreme Point Deterministic Algorithm</i>	[4]
7	<i>Ant Algorithm</i>	[13]
8	<i>Euclidean minimum spanning tree (EMST)</i>	[14]

O Quadro 1, apresenta 8 artigos que tratam do problema da AGMO, cuja solução proposta pelos autores são algoritmos exatos: Id = 3, 4 e 8; algoritmos aproximativo: Id = 6 e heurísticos: Id = 1, 2, 5 e 7.

4.2 Resultados obtidos para a questão 2

A questão 2 pergunta: O Problema da AGMO foi aplicado para modelagem de quais situações do cotidiano?

Como resposta somente um dos estudos abordou claramente a aplicação do problema da AGMO para uma situação cotidiana, conforme mostra o Quadro 2. Os demais estudos seguiram abordagens e experimentos científicos e não especificamente um problema do dia a dia, ou seja, em tais estudos, a preocupação era com o desenvolvimento de estratégias (algoritmos) para solucionar o problema citado.

Quadro 2 – Aplicação do problema da AGMO em situações do cotidiano.

Id	Titulo	Aplicação
6	<i>Extreme Point Deterministic Algorithm</i>	Ferramentas de ajuda à decisão no domínio da arquitetura e concepção de redes, bem como nas operações e gestão da rede, quando vários objetivos têm de ser otimizados.

4.3 Resultados obtidos para a questão 3

Quais conferências e periódicos tem publicado estudos sobre AGMO? Em quais anos? E quais se destacam em números de estudos e citações? São os questionamentos levantados pela questão 3. Abaixo são exibidos os resultados para todos esses questionamentos.

De acordo com os estudos selecionados, foi verificada a periodicidade das publicações sobre o tema analisado, levando em consideração a Conferência e o ano em que o trabalho foi publicado. O gráfico 1 mostra a quantidade de estudos publicados por cada conferência ou periódico no período de 2007 a 2016, que são os anos dos artigos mais antigos e mais atuais, respectivamente, utilizados nesse mapeamento, pode-se verificar que foram publicados 2 estudos no *European Journal of Operational Research*, enquanto que nos demais periódicos apenas 1.

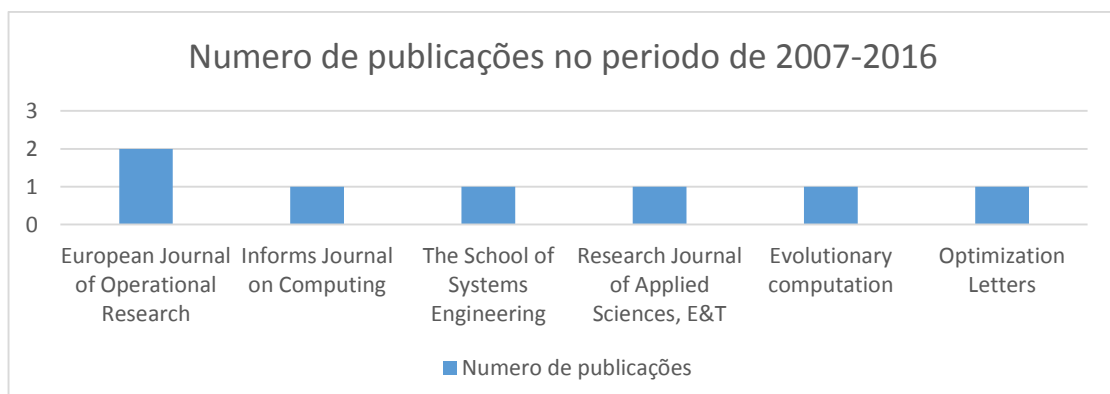


Gráfico 1 – Gráfico com número de publicações no período de 2007 a 2016.

O Quadro 3 exibe em quais anos foram as publicações dos estudos selecionados para o problema da AGMO. Percebe-se que ainda existe pouca publicação sobre o problema com apresentação de soluções no período de 2007 a 2016.

Quadro 3 – Ano em foi publicado um estudo por cada conferência ou periódico.

Titulo/Ano	2007	2008	2010	2013	2014	2015	2016
EJOR	1						1
IJC		1					
EC					1		
TSSE			1				
OL						1	
RJAS				1			

O Quadro 4 exibe os trabalhos selecionados e o número de citações desde o ano de sua publicação.

Quadro 4 – Número de citações de cada estudo selecionado desde sua publicação.

Titulo	Citações	Referência
<i>Multi-Criterion Optimization in Minimum Spanning Trees</i>	1	[4]
<i>Ordered Weighted Average optimization in Multiobjective Spanning Tree Problem</i>	1	[7]
<i>Research on Multi-Objective Minimum Spanning Tree Algorithm Based on Ant Algorithm</i>	8	[13]
<i>ETEA: A Euclidean Minimum Spanning Tree-Based Evolutionary Algorithm for Multi-Objective Optimization</i>	13	[14]
<i>Expected runtimes of a simple evolutionary algorithm for the multi-objective minimum spanning tree problem</i>	27	[15]
<i>Dynamic programming for spanning tree problems: application to the multi-objective case</i>	1	[16]
Multi-objective branch-and-bound. Application to the bi-objective spanning tree problem	9	[19]
<i>Solving the Biobjective Minimum Spanning Tree problem using a k-best algorithm</i>	21	[20]

Para ficar mais evidente a importância dos artigos mais citados para trabalhos futuros, o gráfico 2 aborda uma lista com os estudos selecionados classificados por ordem de importância. Pode-se observar que o artigo “*Expected runtimes of a simple*

evolutionary algorithm for the multi-objective minimum spanning tree problem” foi o mais citado na literatura com 27 ocorrências.

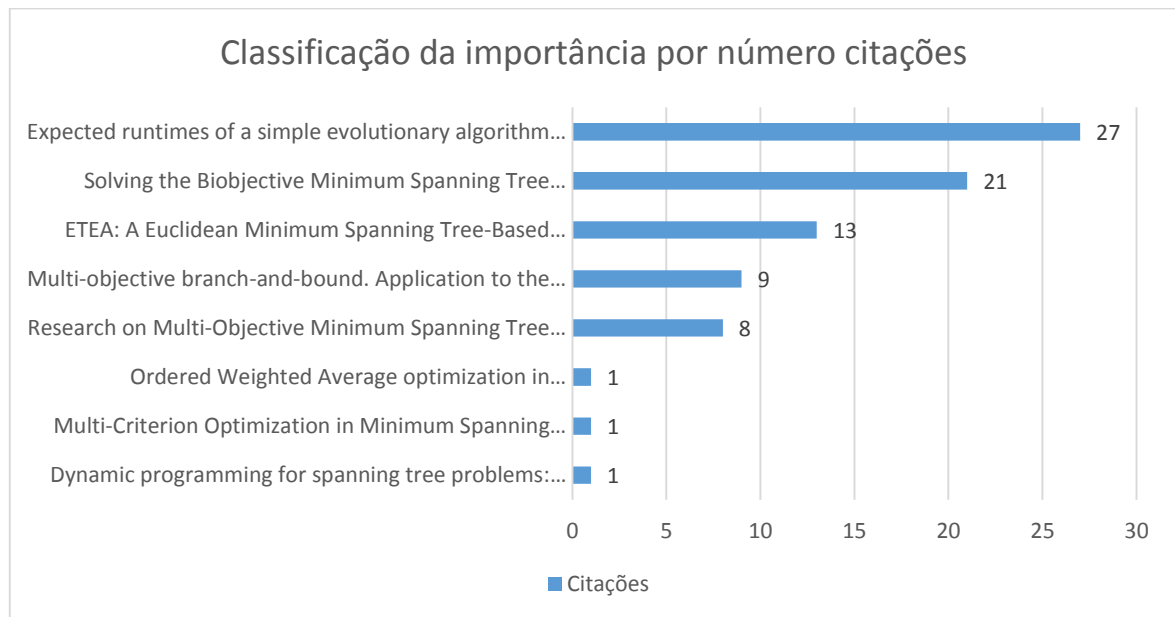


Gráfico 2 – Classificação da importância por número citações.

4.4 Resultados obtidos para a questão 4

Para a questão 4 foi definida a seguinte pergunta: Que nomenclaturas e abreviações tem o problema da AGMO encontrada?

Considerando que o principal objetivo da AGMO é otimizar mais de um critério, foi encontrada uma variação, a *Árvore Geradora Biobjetivo*, que leva em conta a otimização de dois critério. Outra adaptação foi a *Euclidean Minimum Spanning Tree* que é específica para o problema em questão no estudo selecionado. Desta forma houve 2 recorrências em 2 estudos, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Nomenclaturas para a AGMO.

Id	Nomenclatura
3	<i>Biobjective Minimum Spanning Tree problem</i>
9	<i>Euclidean minimum spanning tree (EMST)</i>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta um mapeamento sistemático sobre o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo. Vale ressaltar que o estudo foi realizado desde o planejamento até a extração e análise dos dados. O objetivo do mapeamento foi entender a relevância do problema da AGMO para modelagens de problemas do cotidiano para pesquisas futuras e, como e em que área está sendo aplicada nos trabalhos recentes.

O mapeamento sistemático foi baseado em uma revisão que especificou os métodos utilizados durante a condução do trabalho. Os critérios de pesquisa definidos foram necessários e suficientes para se obter os estudos primários necessários. O mapeamento sistemático é metodologia eficaz, porém requer uma quantidade de tempo, afinal envolveu um trabalho de leitura e análise dos estudos primários a fim de se obter respostas às questões levantadas para a pesquisa.

A partir dos resultados obtidos, foi possível responder às questões levantadas. Desta forma, foi possível realizar a catalogação de 8 trabalhos relacionados ao problema da AGMO. Assim, acredita-se que esta pesquisa apresenta benefícios tanto no seguimento acadêmico como profissional.

Diante do exposto, acredita-se que o presente trabalho contribui como forma de guia para estudos futuros, com grande relevância devido trazer informações importantes sobre o tema, também é mostrado como está sendo estudado por outros autores e a forma que está sendo aplicado na solução de alguns problemas do cotidiano. Como trabalho futuro, pretende-se melhorar as *strings* de busca e verificar mais casos de estudos relacionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BADER, D. A., CONG, G. **Fast Shared-Memory Algorithms for Computing the Minimum Spanning Forest of Sparse Graphs (Extended Abstract)**. Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04), Computer Society, 2004.
- [2] BAZLAMAÇCI, C. F. e HINDI, K. S. (2001). **Minimum-weight spanning tree algorithms a survey and empirical study**. Computers & Operations Research, 28:767–85.
- [3] COSTA, C. S. **Uma abordagem baseada em evidências para o gerenciamento de projetos no desenvolvimento distribuído de software**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. 2010.
- [4] DAVIS-MORADKHAN, M., **Multi-Criterion Optimization in Minimum Spanning Trees**. The School of Systems Engineering, University of Reading, Pepper Lane, Reading, RG6 6AY, U.K. 2010
- [5] E. S. RAMOS, M. M. A. BRASIL, **Um Mapeamento Sistemático sobre Padrões de Software para Reengenharia de Sistemas**, 80f. Monografia (Especialização em Engenharia de Software com Ênfase em Padrões de Software) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.
- [6] FEOFILOFF, P., KOHAYAKAWA, Y., WAKABAYASHI, Y., **Uma Introdução Sucinta à Teoria dos Grafos**. 2011
- [7] FERNÁNDEZ, E., POZO, M. A., PUERTO, J., SCOZZARI, A., **Ordered Weighted Average optimization in Multiobjective Spanning Tree Problem**. European Journal of Operational Research. 2016
- [8] GOLDBARG, M.; GOLDBARG, E. **Grafos: Conceitos, Algoritmos, Aplicações**. Rio de Janeiro.
- [9] HAOUARI, M.; CAOUACHI, J. S., **Upper and lower bounding strategies for the generalized minimum spanning tree problem**. European Journal of Operational Research, v. 171, p. 632-647, 2006.
- [10] K. PETERSEN, R. FELDT, S. MUJTABA, M. MATTSSON, **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**, in: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, Australia, 2008.
- [11] KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Technical Report Software Engineering Group, Keele University, Australia. 2004.
- [12] KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews**. In Software Engineering, Technical Report EBSE- 2007-01, Department of Computer Science Keele University, Keele. 2007.

- [13] LI, Y., ZOU, C. Y., ZHANG, S., VAI, I M., **Research on Multi-Objective Minimum Spanning Tree Algorithm Based on Ant Algorithm**. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013
- [14] LI, M.; YANG, S.; ZHENG, J.; LIU, X., **ETEA: A Euclidean Minimum Spanning Tree-Based Evolutionary Algorithm for Multi-Objective Optimization**. Evolutionary computation, 2014
- [15] NEUMANN, F., **Expected runtimes of a simple evolutionary algorithm for the multi-objective minimum spanning tree problem**. European Journal of Operational Research 181. 2007
- [16] PUGLIESE, P. L.; GUERRIERO, F.; SANTOS, J., **Dynamic programming for spanning tree problems: application to the multi-objective case**. Optimization Letters. 2015
- [17] R.K. AHUJA, T.L. MAGNATI e J.B. ORLIN (1193) – **Network flows: theory, algorithms and applications** – Prentice-Hall
- [18] SANTOS, G. (2010) **Revisão Sistemática, Mini-Curso**. Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software – SBQS. Belém – PA. 2010.
- [19] SOURD, F., SPANJAARD, O., **Multi-objective branch-and-bound. Application to the bi-objective spanning tree problem**. Informs Journal on Computing, Summer, 2008
- [20] STEINER, S., RADZIK, T., **Solving the Biobjective Minimum Spanning Tree problem using a k-best algorithm**. 2003



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”**

Identificação do Tipo de Documento

- Tese
- Dissertação
- Monografia
- Artigo

Eu, Lucas Benjamim de Freitas Moura, autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de 02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar, gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação Mapeamento Sistemático sobre o Problema da Árvore Geradora Multiobjetivo de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI, 02 de Janeiro de 2017.

Lucas Benjamim de Freitas Moura
Assinatura