

UMA ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÍNDICES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E DESEMPENHO LOGÍSTICO ENTRE 2015 E 2019 PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS¹

CAMILA REMIGO DE QUEIROZ SANTOS – cahremigio@hotmail.com

GUILHERME OTTMANN – gui_ottmann@hotmail.com

RENATTA DE SOUZA CORDEIRO – renattasouzacordeiro@gmail.com

MARCELO DE ALMEIDA CARVALHAL (Orientador) – 1142370@mackenzie.br

RESUMO

A roteirização de veículos se tornou um ponto importante para as empresas com a rápida expansão de negócios digitais. A análise de diversas rotas possíveis se apresentou como tema de estudos extensos visto abrangência das variáveis envolvidas e importância do conteúdo para o âmbito empresarial. Além disso o trabalho abordará uma análise comparativa entre os indicadores dos países que mais publicam sobre o tema e a quantidade de publicações, buscando uma possível correlação. Este trabalho tem como objetivo comparar alguns dos índices de pesquisa, desenvolvimento e desempenho logístico para o problema de roteamento de veículos. Para isso serão apresentados alguns dos principais métodos para resolução do problema de roteamento de veículos, entre eles as meta-heurísticas de Otimização de Colônia de Formigas (ACO), Busca Tabu (TS), GRASP e Algoritmo Genético (GA). Os índices que serão abordados serão: Ranking de Desempenho Logístico (LPI), GDP (*Gross Domestic Product*) em função do PPP (*Purchasing Power Parity*), quantidade de publicações gerais, por países e por meta-heurística. Os métodos utilizados ao longo do trabalho envolvem pesquisas bibliográficas, extração de informações, análise e identificação de correlação entre dados levantados com o propósito de explicitar o vasto campo de pesquisa do assunto VRP em âmbito teórico.

Palavras Chave: Problema de roteamento de veículos (VRP), meta-heurísticas, índices e rankings.

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Produção, EE, UPM, São Paulo, 2020.

ABSTRAT

The vehicle routing problem increased importance for companies with the rapid expansion of digital businesses. The analysis of several possible routes became a theme of extensive studies considering the scope of the variables involved into the study and the importance of it for the business segment. In addition, the work will address a comparative analysis between the indicators of the countries that publish the most on the topic and the number of publications, looking for a possible correlation. This work aims to compare some of the research, development and logistical performance indexes for the vehicle routing problem. For that purpose, some of the main methods for solving the vehicle routing problem will be presented, including the Ant Colony Optimization metaheuristics (ACO), Taboo Search (TS), GRASP and Genetic Algorithm (GA). The indexes that will be addressed will be: Logistics Performance Ranking (LPI), GDP (Gross Domestic Product) according to PPP (Purchasing Power Parity), number of general publications, by countries and by meta-heuristic. The methods used throughout the work involve bibliographic research, information extraction, analysis and identification of correlation between the data collected to explain the vast field of research on the subject VRP in theoretical scope.

Keywords: Vehicle routing problem (VRP), metaheuristics, indexes and rankings.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos os problemas de roteirização de veículos (VRP – do inglês *Vehicle Routing Problem*) tornaram-se ponto de atenção nas empresas, pois com as plataformas digitais, ascendidos pelos avanços tecnológicos, promoveram a abertura ou expansão das mesmas no e-commerce, conforme concepção de ROGERS (2017) “A difusão de novas tecnologias e o surgimento de novas ameaças disruptivas estão transformando os modelos e processos de negócios”.

Dessa forma, o VRP consiste em localizar a melhor rota para chegar no destino partindo do ponto inicial. Há inúmeras variações de VRP, assim como de suas soluções. O problema do caixeiro viajante (PCV) é uma das formas mais simples dessas variações, pois nele não há restrições do tipo: tempo, capacidade do veículo, restrições de tráfego, janelas de esperas entre uma visita e outra, carga horária de funcionário, entre outras restrições. No PCV busca-se percorrer todos os nós, ou seja, todas as cidades que o caixeiro viajante precisa visitar

obedecendo uma sequência lógica que promova o menor custo total, de modo que percorrer a cidade “A” a “B” custa o mesmo valor que de “B” para “A”, ou seja, de forma simétrica.

Para resolver problemas como o PCV que pode envolver diversas variáveis e que pode ser de difícil resolução, busca-se através da aplicação de ferramentas de otimização, que possuem excelentes resultados, mas nem sempre são fáceis de serem entendidas. Segundo (SILVEIRA et al, 2004, pg. 4) “Os métodos de otimização são apropriados para esse tipo de situação, onde a eficiência é alcançada, observando-se as restrições do problema, através da melhor alocação dos recursos de produção”.

Dessa forma, em casos reais de aplicação, os VRPs são bem complexos, pois exigem que as restrições sejam respeitadas. Para estimar a melhor sequência de rotas há inúmeros métodos, entretanto muitos deles possuem custo altíssimos, o que inviabiliza para empresas menores.

Nesse contexto, esse trabalho visa aderir alguns métodos utilizados na literatura nos últimos cinco anos para fomentar comparações e análises da performance logística com os índices de pesquisa e desenvolvimento dos países.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A busca por métodos mais assertivos para solução de VRPs fornecem vantagens competitivas no mundo dos negócios, pois isso possibilita que as entregas das demandas sejam programadas em sequência lógica, podendo otimizar o tempo de entrega, a carga horária do funcionário, a quantidade de veículo necessária e possíveis melhorias nos serviços logísticos.

Este trabalho apresenta um estudo teórico dos métodos de solução para VRP, visando a perspectiva, a análise teórica dos métodos de resolução dos VRP, a fim de se ampliar o conhecimento sobre os métodos mais utilizados nas literaturas e promover comparações com índices logísticos e de desenvolvimento e pesquisa a fim de responder a seguinte pergunta: existe correlação entre os indicadores dos países que mais publicam sobre as meta-heurísticas aplicadas a VRP e a quantidade de publicações?

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados o objetivo geral e o objetivo específico.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é identificar alguns dos métodos apontados na literatura atual para resolução de VRPs e realizar uma análise comparativa entre os indicadores dos países que mais publicam sobre o tema e a quantidade de publicações, buscando uma possível correlação.

1.2.2 Objetivos específicos

É necessário que se conclua as etapas a seguir para êxito no objetivo geral:

- Eleger alguns dentre os métodos apontados na literatura atual para resolução de VRPs;
- Selecionar índices para comparação entre os métodos;
- Comparar de forma qualitativa ou quantitativa os métodos mais utilizados na literatura de acordo com respectivo índice; e
- Verificar se há correlação entre os índices analisados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a diminuição das barreiras de comunicação, muitas empresas puderam expandir suas plataformas de negócios, sobretudo, via e-commerce e, com isso, o processo logístico tornou-se ponto de diligência para o gerenciamento.

No geral, as entregas representam para as empresas um alto custo logístico. Dentre todos os processos envolvidos na cadeia logística, o transporte é aquele que absorve a maior parcela do custo, atingindo de um a dois terços do valor total (VIEIRA, 2013, p.1). Ou seja, o VRP possui custo elevado dentro das empresas e trazem consigo a responsabilidade de outorgar o produto ou serviço dentro do prazo acordado entre cliente e empresa, levando em conta as janelas de espera entre as entregas.

Segundo Losekann e Hallack (2018), “A transição energética mundial para uma economia com baixa emissão de carbono dependerá, significativamente, da redução da utilização de combustíveis fósseis na geração de eletricidade, que responde, atualmente, por um terço das emissões globais”. Dessa forma, focar no processo que otimize o tempo de rota para chegar ao destino faz com que a emissão de combustíveis fósseis seja menor, promovendo, de certa maneira, no menor impacto ao meio ambiente.

Dessa forma segundo os autores Vieira (2010) e Losekann e Hallack (2018), o impacto que as soluções de VRPs apresentam desde vantagens diretas e indiretas. Ao olhar diretamente,

as soluções de VRPs poderão promover vantagens competitivas ao se adaptar e flexibilizar o sequenciamento da rota de entrega garantindo o planejamento de entrega dentro do prazo acordado entre empresa e cliente, além de contribuir que as rotas sejam reduzidas promovendo, indiretamente menor impacto de emissões de poluentes, minimizando o impacto ambiental.

Desse modo, justifica-se a usabilidade dos métodos de solução para VRPs mais disseminados nas literaturas entre 2015 a 2019 para promover as comparações entre os índices de desenvolvimento e pesquisa e de qualidade em desempenho logístico.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este tópico irá caracterizar conceitos e pesquisas referentes ao tema do presente estudo, sendo apresentado os métodos analisados e os índices e desempenho logístico e de desenvolvimento e pesquisa.

2.1 MÉTODOS META-HEURÍSTICOS

Meta-heurística é um método heurístico que busca resolver problemas de otimização, entre eles o VRP de forma genérica. Segundo Boussaïd (2013), as meta-heurísticas são copiosamente reconhecidas como abordagens eficientes para muitos problemas difíceis de otimização. Foulds (1984), diz que algoritmos meta-heurísticos não garantem uma solução ótima, mas baseados na prática, pode-se encontrar uma boa solução na resolução de um problema heurístico. Uma heurística pode ser descrita como um método de solução de um problema por tentativa e erro.

Segundo Simon (2013):

Heurística vem da palavra grega ηυρισκω, que é transliterada como eurisko em inglês. A palavra significa encontrar ou descobrir. É também a fonte da exclamação inglesa eureka, que usamos para expressar triunfo quando descobrimos algo ou resolvemos um problema. Os algoritmos heurísticos são métodos que usam regras básicas ou abordagens sensoriais c0kk0j para resolver um problema. Geralmente, não se espera que os algoritmos heurísticos encontrem a melhor resposta para um problema, mas apenas que encontrem soluções "próximas o suficiente" para as melhores. O termo meta-heurística é usado para descrever uma família de algoritmos heurísticos. A maioria, se não todos, dos algoritmos evolutivos pode ser implementada de muitas maneiras diferentes e com muitas opções e

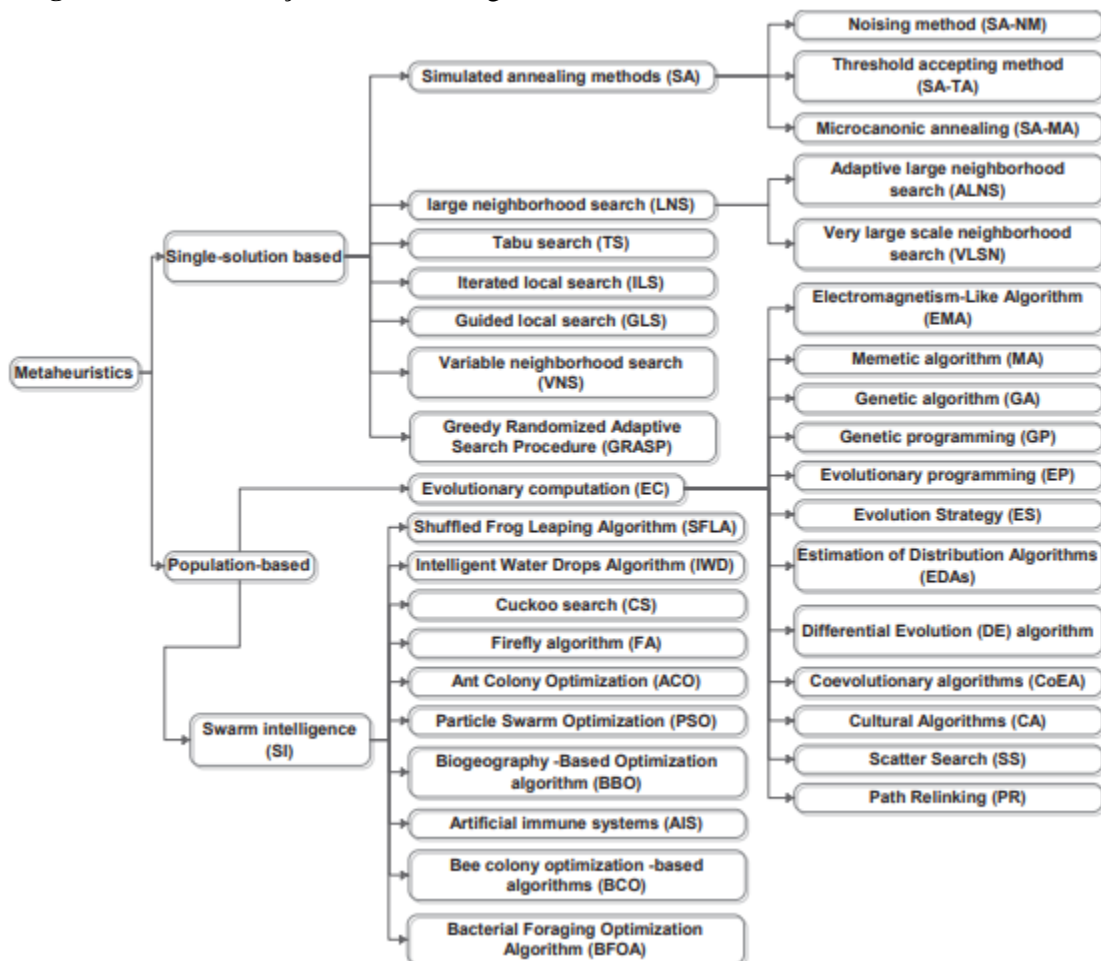
parâmetros diferentes. Portanto, todos eles podem ser chamados de meta-heurísticas. Por exemplo, a família de todos os algoritmos de otimização de colônias de formigas pode ser chamada de meta-heurística da colônia de formigas.

Sendo assim, Dorigo e Stutzle, (2004) afirmam que o uso de meta-heurísticas aumentou significativamente a capacidade de encontrar soluções de alta qualidade para problemas de otimização combinatória difíceis (NP-hard) e praticamente relevantes em um tempo razoável. Um exemplo de um problema de otimização NP-hard é o Caixeiro Viajante.

Uma meta-heurística refere-se a uma estratégia principal que guia e modifica outras heurísticas para produzir soluções além daquelas que são normalmente geradas em uma busca pela otimização local. Fred Glover, Manuel Laguna, (1997).

Os principais algoritmos meta-heurísticos podem ser classificados em dois grupos: solução única e populacional, conforme figura 1.

Figura 1 – Classificação da árvore e algoritmos meta-heurísticos.



Fonte: Awad & Elshaer (2019).

As heurísticas de solução única, são divididas em oito tipos: métodos de recozimento simulado (SA) ramificado em outros três métodos, vizinhança grande (LNS) ramificado em dois métodos, busca por tabu (TS), busca local iterada (ILS), busca local guiada (GLS), busca local guiada (GLS), busca variável por vizinhança (VNS) e procedimento de busca adaptativa aleatória ágil (GRASP).

Heurísticas populacionais são classificadas em dois segmentos principais, computação evolutiva (CE) possuindo doze ramificações entre elas algoritmo genético (GA), programação genética (GP) e programação evolucionária (EP) e inteligência de enxame (SI), que por sua vez possui dez ramificações, entre os principais algoritmos temos algoritmo de vaga-lume (FA), otimização de colônia de formigas (ACO), otimização de enxame de partículas (PSO) e algoritmos baseados em otimização de colônias de abelhas (BCO).

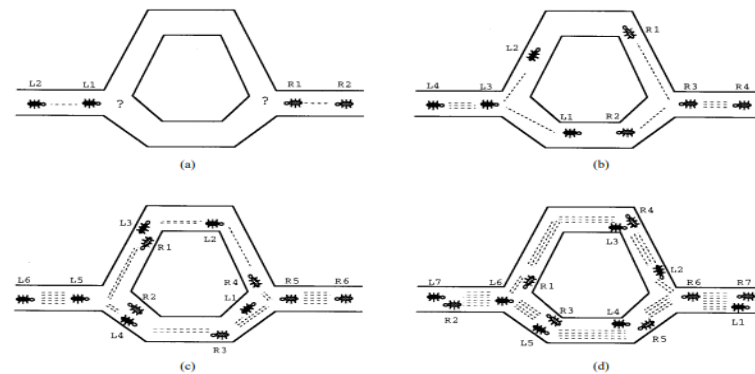
2.2 OTIMIZAÇÃO DE COLÔNIA DE FORMIGAS

Otimização de Colônia de Formigas, ou simplesmente, *Ant Colony Optimization* (ACO), é uma meta-heurística baseada no estudo da observação do comportamento de colônias de formigas em busca de comida, através do menor caminho entre o ninho e a comida. Proposto inicialmente por Dorigo em 1991, foi aplicado ao problema do Caixeiro Viajante e aprofundado por Dorigo e Gambardella (1997) em *Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem*, que propôs o algoritmo Sistema de Formigas (AS).

As formigas quando em busca de alimento, inicialmente exploram o ambiente aleatoriamente em torno de seu ninho. Quando encontrada comida, elas retornam à colônia deixando um rastro de feromônio para que as próximas formigas possam seguir o rastro e não seguir mais caminhos aleatórios. Ao passar do tempo, as trilhas de feromônio começam a desaparecer, fazendo com que as formigas “se percam” e possam percorrer novamente caminhos aleatórios. Quanto mais formigas passam pelo mesmo caminho em um breve espaço de tempo, maior o tempo necessário para o feromônio da trilha evaporar. A vantagem da evaporação é evitar com que todas as primeiras trilhas percorridas sejam uma solução ótima e atrativa para as demais mesmo não encontrando a comida.

O conceito do algoritmo de colônia de formigas se dá por “formigas virtuais” que devem percorrer os grafos e estressar o sistema em busca da solução ótima. A figura 2 (a, b, c, d), mostra de forma resumida a busca por comida das formigas utilizando o feromônio para se guiarem.

Figura 2 – Trajeto das formigas.



Fonte: Dorigo, Gambardella, (1997).

Para entender melhor a complexidade do Caixeiro Viajante, Simon (2013) afirma que:

Há algo entre 10^{20} e 10^{24} grãos de areia na Terra. Se cada grão de areia na Terra fosse um planeta parecido com a Terra com a mesma quantidade de areia que a Terra, então o número de possíveis rotas de 50 cidades ainda seria muito maior do que o número total de mini grãos de areia. Obviamente, é impossível fazer uma pesquisa de força bruta para a solução de um problema tão grande.

Com o estudo do comportamento das formigas reais, Dorigo e Stutzle (2004), criaram as formigas artificiais que possuem boa capacidade de visão e memória quando comparadas as formigas reais. As formigas artificiais são posicionadas em um dos garfos e devem movimentar-se até encontrar comida, buscando o caminho ideal. Soluções ótimas, são encontradas apenas com a cooperação entre as formigas da colônia, utilizando o feromônio entre os caminhos possíveis, visando sempre o menor caminho.

Desta forma, Dorigo e Stutzle (2004) propuseram que um algoritmo ACO possa ser imaginado com a interação de três procedimentos: *ConstructAntsSolutions*, *UpdatePheromones* e *DaemonActions*.

Figura 3 – Pseudocódigo do ACO.

```
procedure ACOMetaheuristic
  ScheduleActivities
    ConstructAntsSolutions
    UpdatePheromones
    DaemonActions      % optional
  end-ScheduleActivities
end-procedure
```

Fonte: Dorigo e Stutzle (2004).

O procedimento *ConstructAntsSolutions* coordena os movimentos de uma colônia de formiga através da utilização de uma política estocástica de decisões localizadas, esta política utiliza-se de trilhas de feromônios e informações heurísticas. A aplicação permite que estados diversos do problema sejam vistoriados de forma simultânea e assíncrona, guiados através de nós vizinhos. A otimização de soluções para o problema ocorre de forma gradual conforme movimentação das formigas. O movimento de construção de uma solução pode ocorrer anteriormente ou simultaneamente a avaliação da solução pela formiga, desta forma, será considerar a solução total ou parcial. A avaliação da solução permite que se defina quanto feromônio será depositado para utilização do procedimento *UpdatePheromones*.

O processo de *UpdatePheromones*, conforme o próprio nome já afirma, atualizada a quantidade de feromônios, as trilhas são modificadas, podendo aumentar ou diminuir. No caso de as formigas posicionarem feromônios nas conexões e/ou componentes, o valor da trilha aumenta. No caso de diminuição está vinculada a evaporação dos feromônios. Uma conclusão possível é o aumento da probabilidade de que os componentes e conexões usados por uma ou muitas formigas e que geraram uma boa solução serão usados novamente por outras formigas. Em oposição a isso a evaporação de feromônios conduz uma boa forma de diminuir a utilização da solução por esquecimento, uma vez que não estimula a exploração de uma região menos proveitosa, desta forma fornece a busca em outras regiões de pesquisa.

A aplicação das ações centralizadas, aquelas que são realizadas por mais de uma formiga, é realizada pelo procedimento *DaemonActions*. Algumas ações conduzidas por este procedimento são a otimização local ou o levantamento de informações globais para deliberar se um feromônio extra será depositado em uma região para induzir a condução de uma pesquisa em um ponto não-local. Ele seleciona a melhor solução ou as melhores através da observação de todos os caminhos encontrados pelas formigas na colônia e assim autoriza a adição de feromônios extraordinários nas conexões realizadas por elas.

Segundo Dorigo e Stutzle (2004), o *ScheduleActivities* não especifica como os três processos serão executados de forma paralela e independente ou se haverá algum processo de

sincronização das etapas. Sendo assim, o programador pode especificar como os três procedimentos devem interagir entre si, considerando as características do problema.

2.3 BUSCA TABU

O método busca tabu foi abordado primeiramente por Fred Glover 1986 e consiste em mapear uma zona a qual se deseja trabalhar realizando interações contínuas. A ideia é que a solução ótima não seja repetida e que a cada interação se encontre novas soluções ótimas, ou seja, soluções muito próximas das melhores soluções para resolução do caminho ótimo em VRPs. Entretanto, para encontrar soluções ótimas é necessário que o caminho com soluções excepcionais seja traçado anteriormente, dessa forma, ao realizar novas interações surgirão novas possibilidades para avaliação e atrelados a soluções iniciais, com isso, é possível constatar novas possibilidades ótimas.

A busca tabu é implementada em diversos campos, como ilustra Gomes (1992) na figura 4.

É importante destacar que cargas perecíveis, como o sangue, dificulta ainda mais o processo conforme afirma Ballou (2006, p. 334) “A complexidade da distribuição de sangue decorre de sua natureza perecível”. Dessa forma, o método para resolução desse tipo de problema precisa ser flexível e eficaz, ou seja, o tempo de processamento para obtenção de soluções ótimas, é importante que seja viável para que cargas perecíveis não sejam perdidas e que haja flexibilidade em recalculá-lo caso o destino da carga, do sangue, por exemplo, seja alterado.

Figura 4 – Aplicações do Busca Tabu.

Aplicações da Busca Tabu	
<p>Design Design assistido por computador Redes tolerantes a falhas Design de redes de transporte Architectural Space Planning Coerência de diagramas Fixed Charge Network Design Problemas de Corte Irregular</p> <p>Produção, Inventário e Investimento Flexible Manufacturing Produção Just-in-Time Capacitated MRP Part Selection Multi-item Inventory Planning Volume Discount Acquisition Fixed Mix Investment</p> <p>Roteamento Roteamento de Veículos Capacitated Routing Roteamento de Janelas de Tempo Roteamento Multi Modo Mixed Fleet Routing Caixeiro Viajante Traveling Purchaser</p> <p>Otimização de Grafos Particionamento de Grafos Coloração de Grafos Particionamento de Clique Problemas de Clique Máximo Maximum Planner Graphs</p>	<p>Scheduling Flow-Time Cell Manufacturing Heterogeneous Processor Scheduling Planejamento de força de trabalho Escalonamento de Cursos Escalonamento em Máquinas Flow Shop Scheduling Job Shop Scheduling Sequencing and Batching</p> <p>Telecomunicações Roteamento de Chamadas Bandwidth Packing Hub Facility Location Path Assignment Network Design for Services Arquitetura Imune a Falhas Synchronous Optical Networks</p> <p>Lógica e Inteligência Artificial Maximum Satisfiability Lógica Probabilística Clusterização Reconhecimento / Classificação de Padrões Integridade de Dados Redes Neurais: Treinamento e Design</p> <p>General Combinational Optimization Programação Zero - Um Fixed Charge Optimization Nonconvex Nonlinear Programming Redes Tudo-ou-Nada Programação Bilevel</p>
<p>Problemas P-Medianos</p> <p>Tecnologia Seismic Inversion Distribuição de Energia Elétrica Engineering Structural Design Minimum Volume Ellipsoids Space Station Construction Circuit Cell Placement</p>	<p>General Mixed Integer Optimization</p> <p>Location and Allocation Multicommodity Location/Allocation Quadratic Assignment Quadratic Semi-Assignment Multilevel Generalized Assignment Planejamento de Lay-Out Exploração de Petróleo em Alto Mar</p>

Fonte: Gomes (1992).

O método busca tabu é diversificado, pois pode ser utilizado em problemas de grande complexidade, conhecidos como problemas NP e problemas mais simples, como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Para problemas complexos, o processamento para soluções desse tipo de problema demanda um período elevado, não sendo viável quando o produto é extremamente perecível, por exemplo. Dessa forma, justifica-se a aplicação da busca tabu, onde a solução encontrada é muito próxima da melhor solução e o tempo de processamento é relativamente inferior, fornecendo maior rapidez na resolução do problema.

O pseudocódigo tem o seu início através de movimentos iterativos de um ponto para outro até que o critério estabelecido seja encontrado, seja por pesquisa local ou pela busca na vizinhança. Cada $x \in X$, tem uma vizinhança associada, $N(x) \subset X$ e cada solução $x' \in N(x)$ é encontrada através de um x , onde x representa um movimento e X representa as restrições no vetor de variáveis de decisão x . Segundo Glover e Laguna (1997), o valor de x é conhecido como ótimo local, uma vez que é pelo menos tão bom ou melhor que todas as soluções em sua vizinhança. O problema de encontrar um X no método de descida, é que o ótimo local provavelmente não será o ótimo global e conseqüentemente minimizará $f(x)$ sobre todos $x \in X$. Uma solução para encontrar o ótimo global é a utilização da versão de descida íngreme, que

varre toda a vizinhança de x mas muitas vezes é impraticável pois é computacionalmente muito caro de acordo com o tamanho de $N(x)$ que possivelmente conterá muito elementos.

Figura 5 – Pseudocódigo de uma Busca Tabu de descida genérica.

```
1) Choose  $x \in X$  to start the process.
2) Find  $x' \in N(x)$  such that  $f(x') < f(x)$ .
3) If no such  $x'$  can be found,  $x$  is the local optimum and the method stops.
4) Otherwise, designate  $x'$  to be the new  $x$  and go to 2).
```

Fonte: Glover e Laguna (1997).

Uma outra forma de escrever o pseudocódigo do Busca Tabu foi proposto por Dorigo e Stutzle (2004), de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Pseudocódigo de uma Busca Tabu genérica.

```
procedure SimpleTabuSearch
   $s \leftarrow$  GenerateInitialSolution
  InitializeMemoryStructures
   $s_{best} \leftarrow s$ 
  while (termination condition not met) do
     $\mathcal{A} \leftarrow$  GenerateAdmissibleSolutions( $s$ )
     $s \leftarrow$  SelectBestSolution( $\mathcal{A}$ )
    UpdateMemoryStructures
    if ( $f(s) < f(s_{best})$ ) then
       $s_{best} \leftarrow s$ 
    end-if
  end-while
  return  $s_{best}$ 
end-procedure
```

Dorigo e Stutzle (2004).

2.4 GRASP(GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCHPROCEDURE)

O método Grasp (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) foi descrito primeiramente por Feo e Resende em 1989, onde consiste em utilizar uma técnica intuitiva aleatória de amostragem, onde cada interação realizada fornece uma solução para o problema de combinação combinatória em questão. Em seu artigo FEO e RESENDE, nos da como base um pseudocódigo genérico demonstrado na figura 7, onde em sua primeira linha podemos observar a entrada do problema em questão, seguido de interações propostas ocorrendo das

linhas 2-6 terminando com a solução ótima ou um determinado critério estabelecido para o término das interações. Dentre todas essas interações podemos determinar dentro do código proposto que há uma sequência seguida por fases.

Figura 7 – Pseudocódigo de um Algoritmo GRASP genérico.

```
procedure grasp ()
1   InputInstance ();
2   for GRASP stopping criterion not satisfied →
3       ConstructGreedyRandomizedSolution(Solution);
4       LocalSearch(Solution);
5       UpdateSolution(Solution, BestSolutionFound);
6   rof;
7   return(BestSolutionFound)
end grasp;
```

Fonte: Feo e Resende (1995).

O Algoritmo apoia-se basicamente em duas fases, sendo uma fase de construção onde é criada uma solução classificada como viável e uma outra fase posterior chamada de busca local, onde tem como objetivo melhorar o valor inicialmente proposto como ótimo ou não, pressupondo que o melhor resultado fornecido dentre as interações é mantido no final como a melhor solução ótima. Analisando a figura 7 mencionada acima podemos verificar que há na linha 3 uma interação denominada de fase de construção, seguida na linha 4 pela fase de busca local, fazendo com que o melhor resultado seja disponibilizado e assumido na linha 5 e retornando uma solução considerada ótima ao utilizador.

Nesse Algoritmo podemos dizer que todas as interações são independentes entre si, pois nenhuma delas carregam informações das interações anteriores e seguem atualizadas a cada interação, assumindo assim que no final a melhor solução denominada e imprimida seja a solução final.

A solução criada na fase denominada de construção se dá através de vários elementos, que são inseridos através de uma escolha aleatória de uma lista chamada RCL (Lista restrita de candidatos), onde os escolhidos dentre essa lista podem ser obtidas por um de suas interações e não necessariamente pelo candidato principal, baseando-se a escolha pelo número de elementos ou pela quantidade de seus elementos, denominando assim um algoritmo chamado de Míope onde ao tentar otimizar a cada passo do processo de construção ele seleciona a melhor opção, deixando pra trás partes da solução ruins pro final do processo de busca, gerando uma solução de qualidade razoável.

“Como é o caso de muitos métodos determinísticos, as soluções geradas por um APERTO construção não têm garantia de ser ótima localmente com

respeito à vizinhança simples. Portanto, é quase sempre benéfico aplicar uma pesquisa local para tentar provar cada solução construída. Um algoritmo de pesquisa local funciona de forma iterativa substituindo sucessivamente a solução atual por uma solução melhor na vizinhança da solução atual. Ele termina quando nenhuma solução melhor é encontrada na vizinhança”. (FEO; RESENDE, 1995) - pág. 4-23

Podemos dizer que existem algumas vantagens em utilizar a meta heurística de GRASP, pois além de ser um algoritmo pouco dependente de parâmetros que inclusive possui apenas dois, que é bem pouco em comparado com outros algoritmos já citados acima, possui uma implementação computacional extremamente simples, e através de seu conceito de construção aleatorizada esse algoritmo facilita que seja construídas soluções viáveis juntamente com um conjunto de busca local, são facilmente paralelizáveis com apenas uma única variável para armazenar sua melhor solução.

“Uma característica especialmente atraente do GRASP é a facilidade com que pode ser implementado. Poucos parâmetros precisam ser definidos e ajustados (tamanho da lista de candidatos e número de GRASP interações) e, portanto, o desenvolvimento pode se concentrar na implementação de estruturas de dados eficientes para garantir iterações GRASP rápidas. Finalmente, GRASP pode ser implementado trivialmente em paralelo processador em um ambiente MIMD. Cada processador pode ser inicializado com sua própria cópia do procedimento, os dados da instância e uma sequência de números aleatórios independente. As interações GRASP são então realizadas em paralelo com apenas uma única variável global necessária para armazenar a melhor solução encontrada em todos os processadores. (FEO; RESENDE, 1995) - pág. 5-23

2.5 ALGORITMO GENÉTICO

Algoritmo Genético, ou simplesmente, *Genetic Algorithm* (GA), é uma meta-heurística proposta inicialmente por John Holland (1975) em *Adaptation in natural and artificial systems*. Baseada em princípios da teoria evolução natural e genética populacional de Charles Darwin (1859) em que uma população aumenta através da reprodução e pode ser diversificada por combinação genética ou mutação.

Segundo Guimarães (2009), uma das principais características dos algoritmos genéticos é o manuseio de diversas soluções simultâneas, o qual possibilita pesquisar com maior

eficiência o espaço de busca, conseqüentemente melhorando a qualidade das soluções encontradas.

Ao contrário de outras meta-heurísticas, o algoritmo genético utiliza o conceito de “população de soluções” que são geradas e melhoradas a cada iteração. Os algoritmos genéticos são usualmente utilizados para buscar soluções de alta qualidade. Cada solução encontrada é classificada como um membro da população e o membro que possuir maior capacidade de adaptação ao meio tem maior chance de se reproduzir e sobreviver.

Segundo Goldberg (1989), o trabalho proposto de Holland explica o funcionamento dos sistemas adaptativos naturais e busca projetar softwares de sistemas artificiais que possam garantir mecanismos importantes de seleção natural.

Segundo Goldberg e Luna (2005) os algoritmos genéticos possuem características gerais como:

- Operar em um conjunto de pontos (população) e não partir de pontos isolados.
- operar em um espaço de soluções codificadas e não diretamente no espaço de busca, necessita como informação apenas o valor de uma função objetivo (denominada função de adaptabilidade ou *fitness*).
- utilizam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

Os termos mais utilizados na literatura e na aplicação de algoritmos genéticos, segundo Goldberg e Luna (2005) são:

- População: conjunto de indivíduos, representados por vetores binários.
- Cromossomo: representa um indivíduo na população;
- Fitness: verifica a qualidade (nível de adaptação) de um indivíduo. Deve ser escolhida a fim de medir o desempenho de cada indivíduo como solução do problema;
- Gene: representa uma componente do cromossomo (variável do problema).
- Alelo: diferentes valores (dados) que um gene pode assumir.
- *Locus*: posição ocupada por um gene em uma estrutura de dados.
- Operadores genéticos: são as regras que permitem a manipulação dos cromossomos que, basicamente, são de:
 - *crossover* (cruzamento), permite a obtenção de indivíduos filhos a partir da combinação (cruzamento) dos cromossomos dos pais.
 - Mutação, permite a produção de um novo indivíduo por alterações diretas no cromossomo pai.
- Fenótipo: cromossomo decodificado.
- Genótipo: representa a estrutura do cromossomo codificado.

Uma forma de escrever o pseudocódigo do Algoritmo Genético foi proposto por Reeves e Rowe (2003), de acordo com a Figura 8 e Goldberg e Luna (2005), Figura 9.

Figura 8 – Pseudocódigo de um Algoritmo Genético genérico.

```

Construa a população inicial;
enquanto o critério de parada não é satisfeito, faça
  se a condição do crossover é satisfeita, então
    Início
      seleciona os cromossomos dos pais;
      escolhe os parâmetros do crossover;
      executa o crossover para gerar os filhos;
    fim
  se a condição da mutação é satisfeita então
    Início
      seleciona o(s) cromossomo(s) para a mutação;
      escolhe os parâmetros da mutação;
      executa a mutação;
    fim
      avalia a aptidão dos descendentes;
      até a quantidade de descendentes necessária;
      Atualiza a nova população;
  fim_enquanto
  
```

Fonte: Reeves e Rowe (2003).

Figura 9 – Pseudocódigo de um Algoritmo Genético genérico

```

Meta-Algoritmo Genético

INÍCIO
  Gerar uma população inicial
  Avaliar a fitness dos indivíduos da população
  Repetir
    Início
      Selecionar um conjunto de pais na população
      Cruzar os pais de modo que se reproduzam
      Avaliar a fitness dos filhos gerados
      Substituir os filhos julgados inadequados
    Fim
  Até que o critério de parada seja atendido
FIM
  
```

Fonte: Goldbarg e Luna (2005).

Inicialmente a população é formada de modo aleatório caso ainda não seja conhecida. Os indivíduos, são representados por vetores binários e cada indivíduo é um gene. Geralmente o gene está associado a uma variável do algoritmo e assim é iniciado o mecanismo de reprodução através, quanto maior “*match*” nos cruzamentos, maior a probabilidade de reprodução. O *Fitness* irá verificar os indivíduos quanto a sua performance, se obtiver uma performance aceitável permite que os indivíduos se estabeleçam e continuem a reproduzir para um possível aperfeiçoamento dos genes e gerar descendentes adequados para que o critério estabelecido seja atendido. Se o indivíduo tiver um baixo *Fitness*, ele será descartado. O principal objetivo do cruzamento é a partir da troca de genes entre os indivíduos pais, gerar novos indivíduo a fim de encontrar a melhor solução.

3 METODOLOGIA

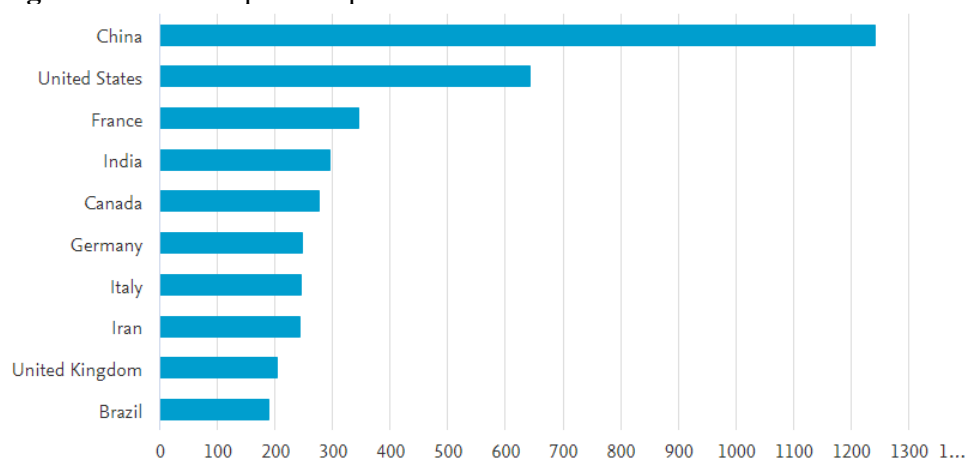
Os métodos utilizados nesse trabalho envolvem pesquisa bibliográfica, extração de informações, análise e identificação de correlação dos dados. A notoriedade desse trabalho busca explicitar o campo de pesquisa do assunto VRP ao fomentar o assunto em leque teórico.

A pesquisa pretende relacionar os dados quantitativos obtidos a partir da plataforma Scopus para mensurar os países que mais publicam sobre o assunto VRP a fim de identificar se nesses países, por consequência, obtém maior êxito no assunto, como empresas de logísticas mais eficientes segundo o ranking de pesquisa *The World Bank*.

A fonte de elementos da *The World Bank* consiste em dados bianuais, ou seja, são elementos publicados a cada dois anos. Com isso, a pesquisa usará os dados dos anos 2016 e 2018.

A busca na plataforma Scopus foi realizada com o conjunto de palavras “*VEHICLE*”, “*ROUTING*” e “*PROBLEM*”, com os filtros selecionados exclusivamente nos períodos de 2015 à 2019, nos mesmos podemos observar que existem predominância do assunto nos campos de exatas, das áreas: Ciências da Computação, Engenharias e Matemática, totalizando um percentual de quase 70% de todos os artigos acadêmicos selecionados. Vale ressaltar que os dez países que mais publicam sobre VRP representam 72%, ou, 3.927 pesquisas publicadas de um total de 5.446, sendo eles representados na Figura 10.

Figura 10 – Países que mais publicaram sobre o tema de VRP.



Fonte: Scopus.

A pesquisa de dados referenciada na plataforma Scopus expõe características de determinada data e estabelece correlação variáveis entre os dados, conforme descrito na Figura 10.

3.1 SCOPUS X LOGISTICS PERFORMANCE INDEX

O *Logistics Performance Index (LPI)* ou Ranking de Desempenho Logístico foi criado para auxiliar com que os países identifiquem seus principais desafios e suas principais oportunidades em seu desempenho logístico comercial e suas possíveis melhorias em seu desempenho. O *LPI* é baseado em uma pesquisa mundial feita com transportadoras expressas e despachantes de carga global, visando através de feedbacks sobre a “facilidade” logística dos países em que operam e com os quais negociam.

Para promover as comparações do ranking extraído da plataforma Scopus esse trabalho realizou as médias dos anos 2015 e 2016 e as médias de 2017 e 2018 para analisar os dados da plataforma *The World Bank*, o *LPI*, que é dado bianual. Ao analisar as informações das duas plataformas, Scopus e *The World Bank*, esse trabalho busca promover e identificar o possível panorama de ligação entre a quantidade de materiais publicados e a qualidade de serviços logísticos nos países analisados.

A China destaca-se em termos quantitativos nos anos de 2015 a 2019 liderou o ranking como o país que mais publicou artigos sobre o tema, entretanto em termos qualitativos não alcançou a mesma liderança, variando entre a vigésima sexta posição em 2016 e vigésima sétima em 2018, ocupando a trigésima quarta posição na média do período. O mesmo vemos para países como Estados Unidos, França, Canadá, Índia e Itália, que embora haja destaque de forma quantitativa, ou seja, publicam e estudam sobre o assunto, não é convertido em qualidade, dado que os países que se destacam sobre a frente logística, segundo o *The World Bank*, são Alemanha, Suécia, Países Baixos, Bélgica e Singapura.

Segundo os dados apresentados na Tabela 1, fomentado pelo *The World Bank*, *LPI*, o Brasil não apresentou melhorias significativas nos anos analisados (2016 e 2018) e retém posição na 55^a e 56^a posição nos anos de 2016 e 2018 respectivamente, e na 77^a posição na média global do período.

A Alemanha destaca-se em termos qualitativos nos anos de 2015 a 2018, pois liderou o ranking como país mais eficiente em logística, entretanto seus dados quantitativos representa uma média de 18,9% em relação à média da China no mesmo período. Os países que tiveram destaque em 2015 e 2016, como Suécia e Bélgica, obtiveram uma melhora significativa em suas operações logísticas, segundo o ranking, passando, respectivamente, de terceiro e sexto nas posições para segundo e terceira em 2017 e 2018, ocupando a segunda e terceira colocação na média do período respectivamente. Entretanto, países como Luxemburgo e Singapura que possuíam altas posições no ranking, segundo e quinto, em 2015 e 2016, foram para as posições de vigésimo quarto e sétima posição, ocupando a décima quarta e quinta colocação na média do período, respectivamente.

É importante destacar que embora haja o aumento de 36,3% (em média para todos os países apontados na Tabela 2) no número de pesquisas realizadas em 2018 em relação a 2015, o mesmo efeito não é acompanhado nos dados qualitativos, inclusive há efeito inverso, a exemplo dos Estados Unidos e França, cuja posição no ranking logístico era de respectivamente 10^a e 16^a colocação em 2016, passando para 14^a e 16^a colocação em 2018, ocupando a 13^a e 15^a colocação na média do período, ou seja, aumentar a quantidade de estudos sobre o tema não aumenta a eficiência em logística.

Tabela 1: Ranking LPI 2016 e 2018 e média de publicações sobre VRP 2015 a 2018. Adaptado de: *The World Bank* e Scopus.

Países	2016		2018	
	LPI 2016	Média de publicações entre 2015 e 2016	LPI 2018	Média de publicações entre 2017 e 2018
Alemanha	1 ^a	41	1 ^a	42
Luxemburgo	2 ^a	1	24 ^a	1
Suécia	3 ^a	7	2 ^a	8
Países Baixos	4 ^a	18	6 ^a	17
Cingapura	5 ^a	14	7 ^a	18
Bélgica	6 ^a	18	3 ^a	11
Áustria	7 ^a	14	4 ^a	11
Reino Unido	8 ^a	31	9 ^a	42
Estados Unidos	10 ^a	117	14 ^a	129
Canadá	14 ^a	54	20 ^a	51
França	16 ^a	68	16 ^a	67
Itália	21 ^a	41	19 ^a	56
Espanha	23 ^a	36	17 ^a	35
China	27 ^a	178	26 ^a	261
Índia	35 ^a	39	44 ^a	59
Brasil	55 ^a	38	56 ^a	38
Irã	96 ^a	40	64 ^a	51

*A cor cinza sinaliza os países que também são encontrados na Figura 10.

3.2 PESQUISAS SOBRE VRP X INVESTIMENTO VOLTADO A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (GDP)

Esse trabalho visa explorar as informações da Tabela 2 que descreve a relação do *GDP* (*Gross Domestic Product*) e o PPP (*Purchasing Power Parity*), sendo o *GDP*, o mesmo que PIB (Produto Interno Bruto) e o PPP o mesmo que PPC (Paridade do Poder de Compra). Para poder comparar a economia dos países que utilizam diferentes moedas, é necessário primeiramente converter para uma moeda única, neste caso, o dólar. Esta conversão causa

distorções e o PPP é utilizado pois oferece um cálculo mais aproximado, eliminando as variações cambiais entre as moedas globais.

Esse trabalho ao realizar uma comparação da Figura 10, que representa os países que mais publicaram entre 2015 e 2019 sobre o tema VRP e os dados da tabela 2 que mostram a porcentagem do PPP que foi gasto em pesquisa e desenvolvimento ou *Research & Development* (R&D), vemos que os resultados são bem diferentes, países como Israel (5,0%), Coreia do Sul (4,8%), Suíça (3,4%), Suécia (3,3%) e Japão (3,3%), dominam o ranking. A China, por sua vez, dominante na publicação de pesquisas sobre VRP, aparece apenas na décima terceira posição dos países, com 2,2% que mais destinaram percentualmente o PPP em pesquisa e desenvolvimento no ano de 2018. Os Estados Unidos, segundo colocado, dos países que mais publicam sobre VRP, aparece na nona colocação. O Brasil, aparece apenas na trigésima primeira posição com 1,3% do PPP gasto em pesquisa e desenvolvimento.

Tabela 2: Relação entre o percentual do *GPD* investido em Pesquisa e Desenvolvimento em função do PPP. Adaptado de *The World Bank* (2018).

País	%GDP investido em R&D (PPP)	Ranking
Israel	5	1
Coreia do Sul	4,8	2
Suíça	3,4	3
Suécia	3,3	4
Japão	3,3	5
Aústria	3,2	6
Alemanha	3,1	7
Dinamarca	3,1	8
Estados Unidos	2,8	9
Bélgica	2,8	10
Finlândia	2,8	11
França	2,2	12
China	2,2	13
Holanda	2,2	14
Noruega	2,1	15
Reino Unido	1,7	21
Canadá	1,6	23
Itália	1,4	27
Brasil	1,3	31
Irã	0,8	46
Índia	0,6	56

*A cor cinza indica quais são países que também são encontrados na Figura 10.

Tabela 3: Investimento do *GPD* em milhões de dólares em Pesquisa e Desenvolvimento em função do PPP. Adaptado de Unesco (2018).

País	Investimento em R&D (milhões USD PPP)	Ranking
Estados Unidos	581,6	1
China	554,3	2
Japão	176,8	3
Alemanha	137,9	4
Coreia do Sul	99,6	5
Índia	68,2	6
França	66,8	7
Reino Unido	52,1	8
Brasil	41,1	9
Rússia	40,1	10
Itália	35,2	11
Canadá	27,9	12
Espanha	23,1	13
Austrália	22,9	14
Turquia	21,7	15
Irã	14,1	23

*A cor cinza indica quais são países que também são encontrados na Figura 10.

A Tabela 3, mostra a relação de investimento do PPP em milhões de dólares voltados a pesquisa e desenvolvimento. Comparando com a Figura 10, vemos uma razão dos países que mais publicam sobre VRP com os países que mais investem seu PPP em pesquisa e desenvolvimento no ano de 2018, com os Estados Unidos (USD 581,6 milhões) e a China (USD 554,3 milhões), dominando, seguidos por Japão (USD 176,8 milhões), Alemanha (USD 137,9 milhões) e Coreia do Sul (USD 99,6 milhões). O Brasil, por sua vez, aparece na nona colocação com USD 41,9 mm. Estados Unidos, China, Alemanha, Índia, França, Reino Unido e Brasil que estão entre os dez países que mais investem em pesquisa e desenvolvimento em números absolutos, também fazem parte dos dez países que mais publicam sobre o VRP, mostrando que existe uma relação maior de publicações com o valor absoluto investido do que publicações com a porcentagem do PPP destinado a pesquisa e desenvolvimento.

Observando a Tabela 2 e a Tabela 3, notamos uma grande diferença no ranking de números absolutos de investimento em pesquisa e desenvolvimento para o percentual destinado do PPP ao R&D. Na Tabela 3 notamos uma relação de semelhança com o ranking da Figura 10, o qual, observando a Tabela 2 já não fica clara essa relação de semelhança. Isso ocorre porque o número de publicações está diretamente relacionado com o valor absoluto de investimento do PPP e não com a porcentagem do PPP investidos em pesquisas e desenvolvimento.

3.3 PESQUISAS SOBRE VRP X MÉTODOS PARA RESOLUÇÃO

Na plataforma do Scopus foi realizado a busca com uso das palavras chaves “*VEHICLE*”, “*ROUTING*”, “*PROBLEM*” e o método utilizado, ou seja, “*VEHICLE*”, “*ROUTING*”, “*PROBLEM*” e “*Ant Colony Optimization*”, por exemplo. Dentre as meta-heurísticas pesquisadas nesse trabalho, podemos constatar uma expressiva quantidade de publicações da meta heurística Algoritmo Genético que representa 52,5% do total de publicações analisadas.

A junção de todos as publicações que apresentam as meta-heurísticas selecionadas, representa mais de 25% de todos os trabalhos publicados na plataforma Scopus, independente se eles falam sobre meta heurísticas ou não, isso ressalta a importância e a contribuição desses métodos nos trabalhos referentes ao VRP, dado que são extremamente difundidos e trabalhados em escala mundial.

Tabela 4: Publicação das meta-heurísticas abordadas neste trabalho, pesquisadas no período de 2015 a 2019. Fonte: Scopus.

Meta Heurística	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Otimização por Colônia de Formigas	57	53	56	74	80	320
Busca Tabu	49	57	47	60	66	279
GRASP	8	14	7	17	13	59
Algoritmo Genético	110	112	117	173	215	727
Total	224	236	227	324	374	1.385

A China além de ser o país que mais publica sobre VRP, também liderou em 2015 à 2019 em quantidade de publicações sobre as meta-heurísticas abordadas neste trabalho, cerca de 28,7% do total de publicações, apresenta 21,2%, pelo menos, de diferença de quantidade em todas as meta-heurísticas publicadas no período de 2015 a 2019, seguido por Irã, Estados Unidos e França e Índia.

A Alemanha possui posições de liderança nos rankings de LPI e GPD, ambos fornecidos pelo *The World Bank*, entretanto a posição no ranking da plataforma Scopus, que diz respeito a quantidade de trabalhos publicados frente ao tema VRP, detém da 23ª posição entre os anos de 2015 à 2019 sobre as meta-heurísticas abordadas neste trabalho.

O Brasil aparece na 7ª posição do ranking fomentada pelo Scopus mostrando-se um país que ainda não teve ascensão em publicações sobre os temas de VRP, meta heurísticas e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (R&D).

Tabela 5: Quantidade de publicações por países das meta-heurísticas abordados neste trabalho, no período de 2015 a 2019. Adaptado de Scopus.

País	Quantidade de Publicações					Ranking
	Algoritmo Genético	Colônia de Formigas	Busca Tabu	GRASP	Total	
China	209	106	77	3	395	1
Estados Unidos	41	16	20	2	79	2
Irã	55	4	10	2	72	3
França	37	6	13	6	63	4
Índia	29	27	3	1	60	5
Tunísia	34	2	3	1	40	6
Brasil	21	3	6	4	34	7
Canadá	15	5	9	2	31	8
Turquia	12	9	8	0	29	9
Reino Unido	15	5	9	0	28	10
Indonésia	17	7	3	0	27	11
Itália	9	5	9	4	27	12
Marrocos	9	14	3	0	26	13
Espanha	6	5	7	6	25	14
Taiwan	11	9	3	0	24	15
Alemanha	5	1	9	0	14	23

*A cor cinza indica quais são países que também são encontrados na Figura 10.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou algumas das principais meta-heurísticas para soluções de VRP encontrados na literatura que dado o tempo de processamento e a qualidade da solução, apresentam grande relevância no meio científico. As meta-heurísticas levantadas foram: Otimização de Colônias de Formigas, Busca Tabu, GRASP e Algoritmo Genético.

Com base nas informações levantadas entre 2015 a 2019 constata-se com a análise desse trabalho, que embora os dois primeiros países sejam populosos, China e Estados Unidos, conforme Figura 10, e juntos representam 34,6% do total de artigos postados na plataforma Scopus. A relação entre tamanho da população e produção de trabalhos cujo tema contemple as palavras “*VEHICLE*”, “*ROUTING*” e “*PROBLEM*”, pode ser descartada, dado que países como França e Itália, cuja população equivale respectivamente a 4,7% e 4,3% da população da China, também fazem parte da lista.

Os índices de R&D (*The World Bank*) e a quantidade de publicações (*Scopus*) sugerem que não é o percentual de GPD destinado a R&D que reflete na quantidade de publicações mas sim o valor absoluto investido em R&D. Comparando o valor absoluto investido em R&D com a quantidade de publicações encontra-se uma alta relação, ou seja, se houver grandes investimentos em valor absoluto, mesmo que esse valor represente um pequeno percentual do

GPD do país analisado, haverá reflexos na quantidade de publicações. Um exemplo desse fato é Israel, dado que o percentual de GPD destinado a R&D é de 5%, entretanto o mesmo não aparece entre os 15 primeiros países que mais investem em R&D em valores absolutos. Embora os Estados Unidos destinem o percentual de 2,8% de GPD para R&D, esse percentual em valores absolutos representa USD 581,6 milhões, sendo o líder dos países que mais investem em R&D, conforme Tabela 3. Dessa maneira, é nítido que o impacto se dá em valor absoluto e não em percentual, conforme vemos na Tabela 3 e Tabela 2 respectivamente.

As meta-heurísticas analisadas nesse trabalho representam juntas 25,4% de todos os trabalhos publicados na plataforma Scopus sobre VRP. Dentre as meta-heurísticas, destaca-se o Algoritmo Genético, que é bastante referenciado nos trabalhos pesquisados possuindo percentual de 52,5% do total entre os anos 2015 a 2019 em relação as demais meta-heurísticas apresentadas neste trabalho, além de ter um crescimento de 95,5% em 2019 se comparado à 2015. Esse mesmo efeito de crescimento não é notado nas demais meta-heurísticas analisadas, entre 2015 a 2019, o qual este tema pode ser abordado em trabalhos futuros buscando entender o motivo do Algoritmo Genético estar sendo cada vez mais estudado enquanto as demais meta-heurísticas não.

O trabalho desenvolvido possui limitação, dado que todas as informações quantitativas referente aos materiais publicados foram extraídos exclusivamente do Scopus, sendo assim, trabalhos que não estão alocados nessa plataforma não foram considerados na pesquisa.

Para trabalhos futuros sugere-se uma análise para correlação de dados entre os países apresentados na plataforma *Scopus* com os demais índices da *The World Bank* e o detalhamento da quebra por países publicados, dado que a informação atual possivelmente contabiliza uma ou mais vezes o mesmo trabalho. Possivelmente, a repetição na quantidade de trabalhos publicados e contabilização repetidamente se dê pois o mesmo trabalho fora realizado por membros de países distintos.

Por fim, com as análises apresentadas neste trabalho podemos afirmar que não existe correlação entre os indicadores de qualidade no desempenho logístico (*The World Bank*) e o percentual de GPD destinado à R&D dos países que mais publicam sobre as meta-heurísticas aplicadas a VRP com a quantidade de publicações, entretanto há relação direta entre a quantidade de publicações e o indicador de valor absoluto para R&D.

REFERÊNCIAS

Awad, Hadeer & Elshaer, Raafat. (2019). **A Taxonomic Review of Metaheuristic Algorithms for Solving the Vehicle Routing Problem and Its Variants**. Computers & Industrial Engineering. 106242. 10.1016/j.cie.2019.106242.

BALLOU, Ronald H. **GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS/LOGÍSTICA EMPRESARIAL**, 5ª edição, p. 320 a 340, 2006.

Boussaïd, I., Lepagnot, J., & Siarry, P. (2013). **A survey on optimization metaheuristics**. *Information Sciences*, 237, 82–117.

DORIGO, M.; GAMBARDELLA, L. M. **Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem**. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, v. 1, n. 1, p. 53-66, 1997.

DORIGO, M.; STÜTZLE, T. **Ant Colony Optimization**. Bradford Book, 2004.

Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). **The vehicle routing problem: A taxonomic review**. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472–1483.

Feo, Thomas & Resende, Mauricio. (1995). **Greedy Randomized Adaptive Search Procedures**. *Journal of Global Optimization*. 6. 109-133. 10.1007/BF01096763.

FOULDS, L. R. **Combinatorial Optimization for Undergraduates**. Springer-Verlag, New York, 1984, p. 114.

Glover, F., & Laguna, M. (1997). **Tabu Search**. Boston, Kluwer Academic Publishers.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. 2ed. Brasil: Campus, 2005.

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

GOMES, André. **Uma introdução à Busca Tabu**, Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 1992.

GUIMARÃES, M. A. N. **Plataforma integrada para o planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica utilizando metaheurísticas**. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2009.

HOLLAND, J.H. **Adaptation in natural and artificial systems** Ann Arbor: The University Of Michigan Press, 1975, in Goldberg Genetic Algorithms in Search. Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.

LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. **NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES**1. 2018.

OECD (2020), **Gross domestic spending on R&D (indicator)**. doi: 10.1787/d8b068b4-en Acesso em: 14 nov. 2020.

REEVES, C. R.; ROWE, J. E. **Genetic Algorithms: principles and perspectives, a guide to GA theory**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.

ROGERS, David L. **Transformação digital: repensando o seu negócio para a era digital**. 1.ed. São Paulo: Autêntica Business, 2017. 329 p. Tradução: Afonso Celso da Cunha.

SCOPUS Preview. Disponível em:

<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=4cc274bc704846d92eb7f8aa7de348db&origin=resultslist&src=s&s=%28TITLE-ABS-KEY%28VEHICLE%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28ROUTING%29AND+TITLE-ABS-KEY%28PROBLEM%29%29+AND+PUBYEAR+%3e+2014+AND+PUBYEAR+%3c+2019&sort=cpf&sdt=b&sot=b&sl=115&count=4024&analyzeResults=Analyze+results&txGid=1225ca34aadddc687b892ccd30e74984>. Acesso em: 06 nov. 2020.

SILVEIRA, Carlos Augusto et al. **Pesquisa Operacional no Estudo da Logística**, Florianópolis (SC), 2004.

SIMON, D. **EVOLUTIONARY OPTIMIZATION ALGORITHMS Biologically-Inspired and Population-Baed Approaches to Computer Intelligence**. John Wiley & Sons, 2013.

THE WORLD BANK. Disponível em: <https://lpi.worldbank.org/international/global>. Acesso em: 07 nov. 2020.

UNESCO. **Gross domestic expenditure on R&D (GERD), GERD as a percentage of GDP, GERD per capita and GERD per researcher**. Disponível em: http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?DataSetCode=SCN_DS&lang=en#. Acesso em: 14 nov. 2020.

UNESCO Institute for Statistics. **Research and development expenditure (% of GDP)**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>. Acesso em: 14 nov. 2020.

VIEIRA, S. **Estatística básica/ Sonia Vieira**. São Paulo: Cengage Learning, 2013