

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HEVERSON RENAN MODESTO PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DE HEURÍSTICAS APLICADAS A UMA
COMPETIÇÃO ESPORTIVA**

PONTA GROSSA

2021

HEVERSON RENAN MODESTO PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DE HEURÍSTICAS APLICADAS A UMA
COMPETIÇÃO ESPORTIVA**

OPTIMIZATION THROUGH HEURISTICS APPLIED TO A SPORTS COMPETITION

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Everton Luiz de Melo.

PONTA GROSSA



2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

	<p style="text-align: center;">Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	 <p style="text-align: center;">UTFPR <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small></p>
---	--	---

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DE HEURÍSTICAS APLICADAS A UMA COMPETIÇÃO ESPORTIVA

por

HEVERSON RENAN MODESTO PEREIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 07 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Everton Luiz de Melo
Prof. Orientador(a)

Prof. Dr. Fábio José Ceron Branco
Membro titular

Prof(a). Dr(a). Yslene Rocha Kachba
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha família, amigos, professores e a todos que estiveram juntos nessa jornada da minha vida, na qual, de alguma forma me proporcionaram os ensinamentos, apoio e me incentivaram, para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

PEREIRA, H. R. M. **Otimização de rotas através de heurísticas aplicadas a uma competição esportiva.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Alguns fatores prejudiciais que ocorrem em competições esportivas são custos elevados, grandes deslocamentos, equipes com fadigas por realizações de longas viagens e riscos enfrentados por trajetos perigosos. Tendo esses problemas como base, o presente trabalho buscou uma forma de resolução através de um método computacional a fim de reduzir os deslocamentos por equipes em competições esportivas, especialmente competições amadoras com menos recursos financeiros, proporcionando benefícios a todas as equipes envolvidas. A título de ilustração foram feitos experimentos com dados relativos a equipes de uma competição estadual para a qual foram propostas estruturas de competição. Com a escolha do problema, foi elaborada uma revisão bibliográfica para melhor entendimento dos conceitos aplicáveis ao problema descrito, na qual, a partir dos conceitos de pesquisa operacional, aplicaram-se métodos heurísticos a um algoritmo com o objetivo de minimizar rotas. Os resultados dos experimentos indicaram diferenças entre as distâncias das diferentes estruturas da competição propostas. Por fim, houve a verificação dos resultados e foram constatadas reduções nas médias das distâncias por equipe com a aplicação dos métodos heurísticos em 38,02% e 63,42% em duas estruturas de competição com o uso do método Solução Heurística por Seleção Aleatória. Além disso, vale destacar a redução e nas distâncias de amplitude média por estrutura de competição, sendo reduzidas de 2536 a 1527,5 quilômetros e 4887 a 1745,5 do Métodos Solução Inicial ao Método Solução por Seleção Aleatória respectivamente.

Palavras-chave: Algoritmos. Competições Esportivas. Métodos Heurísticos. Otimização. Roteirização.

ABSTRACT

PEREIRA, H. R. M. **Optimization through heuristics applied to a sports competition**. Work of Conclusion Course (Graduation in Production Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Some harmful factors faced while planning events include elevated costs, large displacements, fatigued teams due to long distance travels, as well as the risks going through dangerous paths. With these problems as a basis, the present work sought a way of solving it through a computational method in order to reduce displacements by teams in sports competitions, especially amateur competitions with less financial resources, providing benefits to all teams involved. By way of illustration, experiments were carried out with data relating to teams from a state competition for qualifications were proposed for competition. Defined the problem, a literature review was elaborated for better understanding of the usable concepts in the described problem, which, from the operational search concepts, heuristic methods were applied to an algorithm with the objective of minimizing routes. The results of the experiments indicated differences between the distances of the different proposed competition structures. Finally, the results were verified and reductions were found in the average distances per team with the application of heuristic methods in 38.02% and 63.42% in two competition structures using the Heuristic method by Random Selection. In addition, it is worth highlighting the reduction and in the average amplitude distances by competition structure, being reduced from 2536 to 1527.5 kilometers and from 4887 to 1745.5 from the Initial Solution Methods to the Solution Method by Random Selection, respectively.

Keywords: Algorithms. Sports Competition. Heuristic Methods. Optimization. Routing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de grafos simples.	20
Figura 2 – Processo Simplificado de Modelagem Matemática.	28
Figura 3 – Fluxograma de atividades do trabalho.	30
Figura 4 – Posição geográfica das equipes no estado do Paraná.	35
Figura 5 – Grafo exemplo para os métodos heurísticos.	42
Figura 6 – Deslocamento da Equipe 7 na estrutura de competição 1.	44
Figura 7 – Deslocamento da Equipe 1 na estrutura de competição 2.	45
Figura 8 – Deslocamento conforme matriz do grafo Equipe 1.	49
Figura 9 – Deslocamento da Equipe 1 na estrutura de competição 3.	50
Figura 10 – Deslocamento da Equipe 12 na estrutura de competição 4.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distância entre as sedes das equipes em quilômetros.....	38
Tabela 2 – Exemplo de matriz com 4 sedes.....	47
Tabela 3 – Exemplo de matriz com 3 sedes.....	47
Tabela 4 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 1 para a estrutura 3.	48
Tabela 5 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 2 para a estrutura 3.	51
Tabela 6 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 3 para a estrutura 3.	51
Tabela 7 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 4 para a estrutura 3.	52
Tabela 8 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 5 para a estrutura 3.	52
Tabela 9 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 6 para a estrutura 3.	53
Tabela 10 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 7 para a estrutura 3.	53
Tabela 11 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 8 para a estrutura 3.	54
Tabela 12 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 9 para a estrutura 3.	54
Tabela 13 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 10 para a estrutura 3.	55
Tabela 14 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 11 para a estrutura 3.	55
Tabela 15 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 12 para a estrutura 3.	56
Tabela 16 – Mandos de campo da estrutura de competição 3.....	58
Tabela 17 – Mandos de campo da estrutura de competição 4.....	61
Tabela 18 – Deslocamento total na estrutura de competição 1.	68
Tabela 19 – Deslocamento total na estrutura de competição 2.	69
Tabela 20 – Resultados dos métodos heurísticos utilizados na estrutura 3.....	70
Tabela 21 – Variação percentual entre equipes na estrutura de competição 3.....	71
Tabela 22 – Resultados dos métodos heurísticos utilizados na estrutura 4.....	75
Tabela 23 – Variação percentual entre equipes na estrutura de competição 4.....	77
Tabela 24 – Tempo de execução do algoritmo na estrutura 3.	79
Tabela 25 – Tempo de execução do algoritmo na estrutura 4.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equipes participantes.....	34
Quadro 2 – Jogos da competição.....	35
Quadro 3 – Pseudocódigo Solução Heurística Inicial.....	40
Quadro 4 – Pseudocódigo Solução Heurística Melhor Vizinho.....	41
Quadro 5 – Pseudocódigo Solução Heurística Seleção Aleatória.....	41
Quadro 6 – Combinação das equipes como visitantes em ordem numérica.....	56
Quadro 7 – Exemplo de organização da sequência de jogos para estrutura 3.....	60
Quadro 8 – Exemplo de combinação de jogos da estrutura de competição 4.....	62
Quadro 9 – Exemplo de organização da sequência de jogos para estrutura 4.....	67
Quadro 10 – Caminhos obtidos como resultados da estrutura de competição 3.....	72
Quadro 11 – Tabela de jogos Solução por Seleção Aleatória da estrutura de competição 3.....	73
Quadro 12 – Caminhos obtidos como resultados da estrutura de competição 4.....	78

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
PO	Pesquisa Operacional
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
PRV	Problema de Roteamento de Veículos
RR	<i>Round Robin</i>
SRR	<i>Simple Round Robin</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

IBRAMED	Indústria Brasileira de Equipamentos Médicos
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMÁTICA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 PESQUISA OPERACIONAL.....	16
2.1.1 Programação Linear.....	17
2.2 TOMADA DE DECISÃO.....	18
2.3 LOGÍSTICA.....	18
2.4 GRAFOS.....	20
2.5 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE.....	21
2.6 HEURÍSTICAS.....	22
2.6.1 Heurística do Vizinho Mais Próximo.....	22
2.7 ALGORITMOS.....	23
2.7.1 Algoritmo de Dijkstra.....	24
2.7.2 Round Robin.....	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	27
3.1.1 Natureza.....	27
3.1.2 Abordagem.....	27
3.1.3 Objetivos.....	29
3.1.4 Procedimentos Técnicos.....	30
3.1.5 Procedimentos de Desenvolvimento.....	30
3.1.6 Coleta e Análise de Dados.....	31
4 DESENVOLVIMENTO	32
4.1 A ORGANIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE JOGOS.....	32
4.2 COMPETIÇÃO ESPORTIVA CONSIDERADA NO ESTUDO.....	33
4.2.1 Restrições da Competição.....	38
4.3 O ALGORITMO.....	39
4.4 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 1.....	43
4.5 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 2.....	45
4.6 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 3.....	46
4.7 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 4.....	61
4.8 RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS.....	67
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
6 CONCLUSÕES	81

REFERÊNCIAS.....	83
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Diariamente milhares de pessoas praticam diversos tipos de esportes amadores e profissionais em todo o mundo, por trabalho, lazer ou necessidade aos cuidados do bem estar e da saúde física e mental. O esporte, no geral, envolve atletas e profissionais de diversas áreas, sejam esses do meio esportivo ou não. A organização dos jogos olímpicos envolve diversos países e suas delegações de atletas, os quais viajam para um país escolhido como sede, para que todos estejam concentrados juntos, disputem suas modalidades individuais ou por equipes e busquem seus objetivos representando o país de sua nacionalidade. Porém, diferentemente das olímpiadas, em todo o mundo, acontecem muitas competições esportivas diariamente sejam essas amadoras ou profissionais, com deslocamentos de equipes e atletas de diversas modalidades para a realização de jogos nas sedes dos adversários ou em sedes fixas escolhidas pela organização de cada competição. Com um número elevado de viagens e deslocamentos, além da rotina de jogos seguidos por diversas competições, o desgaste e os riscos para os atletas tornam-se ainda maiores.

Para a Doutora em fisioterapia e analista de pesquisa da IBRAMED, Cíntia Cristina Martignago, ter uma rotina exaustiva com viagens, treinos, concentrações e jogos, podem causar desgastes físicos e mentais que são pontos que precisam ser observados nos atletas devido às sequências de jogos, além disso, ela complementa que sem o descanso necessário, o rendimento do atleta diminui, pois, é durante o descanso que o músculo se recupera do treino e cresce (SUPER ESPORTES, 2021).

O que muitas vezes passa despercebido, é toda a organização logística que as equipes, atletas e as comissões técnicas enfrentam para a realização de cada jogo, desde o transporte e movimentação de materiais, até chegar a sede adversária e estarem prontos para a realização da partida. Vale ressaltar que ao realizar viagens mais longas, os riscos são maiores. Segundo o coordenador do SOS Estradas, Rodolfo Rizzotto “Se houver um acidente, mesmo em velocidade baixa, os atletas sem cinto de segurança podem ficar de fora de um jogo, da temporada ou pôr fim às suas carreiras, acarretando prejuízos a eles e aos clubes.” (ESTRADAS, 2019). Sendo assim, diminuir distâncias em viagens, viajar em períodos mais

seguros, como por exemplo, pelas manhãs e tardes, fazer sempre a utilização do cinto de segurança, respeitar os limites de velocidade, são essenciais tanto para logística, como também em ajudar a evitar problemas para toda a equipe.

Para entender melhor esse cenário sobre elaboração de tabela de jogos para competições esportivas e problemas de rotas e deslocamentos, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre formas de otimização de rotas analisando trabalhos na área de Pesquisa Operacional (PO), elaborados com o auxílio de métodos heurísticos e algoritmos, para entender melhor o tema de pesquisa e assim realizar uma escolha do método mais adequado para a resolução do problema. Também foi executada uma pesquisa em busca de trabalhos de outros autores que mostrassem alguma relação com o problema, na qual, verificou-se a resolução de problemas semelhantes e trabalhos realizados como artigos, dissertações, os quais, planejavam e organizavam as tabelas esportivas de outros esportes no mundo como basquete, vôlei e beisebol. Isso mostra que o problema em questão, pode ser adaptado e inserido em diferentes contextos, nos quais as variáveis e os objetivos podem focar exclusivamente no que se precisa, como por exemplo, redução de custo de transporte e hospedagem da equipe, melhor ponto estratégico para início de um campeonato, melhores datas para a realização de jogos em determinadas cidades, entre outros. É importante ressaltar que sempre podem acontecer imprevistos ou conflitos para a realização de jogos em outros campeonatos e, ou locais fora do planejado, com isso, formas de se analisar e priorizar o que alterar na tabela são restrições e critérios para cada atividade ou problema em específico que ocorrer.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral, otimizar rotas para o deslocamento de equipes em uma tabela de uma competição esportiva, com a utilização dos dados de uma competição esportiva amadora estadual, como forma de exemplo, a fim de reduzir os deslocamentos a serem realizados pelas equipes através do uso de métodos heurísticos. O estudo poderá ser aplicável, e adaptável no método de resolução com uso de restrições, ou heurísticas diferentes, conforme as necessidades de cada possível problema desse tipo. Assim como poderá ser aplicado a outras competições esportivas individuais ou por equipes, principalmente em competições esportivas amadoras e que envolvam equipes com pouco poder aquisitivo. Pois são essas equipes e atletas que realmente mais precisam de

redução de custos e assim como também são os que enfrentam maiores problemas de deslocamentos.

1.1 PROBLEMÁTICA

Como organizar uma tabela de jogos para a realização de uma competição esportiva minimizando distâncias percorridas pelas equipes?

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho se dividem em geral e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Otimizar rotas para o deslocamento de equipes em uma tabela de uma competição esportiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i. Realizar revisão bibliográfica para identificar problemas correlatos ao problema deste estudo;
- ii. Implementar um método de resolução que permita otimizar as distâncias a serem percorridas pelas equipes do problema;
- iii. Realizar os experimentos;
- iv. Identificar se o método de resolução foi adequado para o problema.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para organizar a tabela de jogos e organizar a Copa do Brasil de Futebol, por exemplo, a entidade organizadora do futebol, realiza todo ano um sorteio inicial com

os 92 clubes de todo o país classificados a participar da competição. Para esse sorteio, as equipes são separadas em oito grupos com dez equipes cada, de acordo com o Ranking Nacional de equipes e com o Ranking Nacional de Federações. Não são consideradas as regiões e cidades de origem das equipes assim como as distâncias a serem percorridas para a realização dos jogos.

Nessa competição, as maiores equipes do Brasil, presentes nas grandes competições continentais esportivas, tem maior porte financeiro e realizam suas viagens através de transporte aéreo, mais especificamente em voos fretados e são incluídos na competição já nas fases finais. Isso mostra, que mesmo em uma das maiores competições de futebol do Brasil, não há um planejamento otimizado ou uma separação prévia por grupos de regiões a fim de melhorar e organizar a distribuição dos jogos em relação a menores deslocamentos ou redução de custos entre equipes participantes de menores condições financeiras.

Para competições de grande porte como a Copa do Brasil envolvendo participantes com condições financeiras muito diferentes, para que as disputas iniciais sejam mais justas, poderia ser adotada uma padronização para a realização de jogos. Por exemplo, métodos de otimização poderiam ser aplicados antes de quaisquer jogos a fim de equilibrar variáveis como a própria distância ou os fatores de mando de jogo, assim solucionando problemas simples e iniciais que sejam prejudiciais aos participantes da competição.

A partir dos problemas citados, para adequar e encontrar uma solução a esse problema, o trabalho em questão buscou uma forma de resolução para minimizar os deslocamentos e proporcionar uma organização com resolução matemática e com transparência para os envolvidos que atuam diretamente nesse tipo de atividade. Pois, no meio esportivo, a falta de apoio e incentivos, afeta diretamente o orçamento das pequenas equipes, as quais não possuem a mesma visibilidade, forma de arrecadação, patrocínios ou apoio, no mesmo patamar das grandes equipes de futebol do Brasil. Com isso, o foco do trabalho fica direcionado a buscar melhorias no deslocamento de equipes, através de métodos heurísticos, para competições e equipes amadoras que não possuem o mesmo poder aquisitivo que equipes profissionais que arrecadam valores financeiros em grandeza na casa dos milhões de reais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os assuntos abordados neste capítulo mostram a base teórica para o estudo sobre otimização de rotas a partir do uso de métodos heurísticos a fim de otimizar rotas a percorridas por equipes e assim construir uma tabela de jogos otimizada para uma competição esportiva.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A busca por bons resultados dentro das organizações na atualidade é cada vez mais importante a fim de reduzir todos os tipos de perdas, sendo essas, prejuízos financeiros, desperdícios de tempo, ou ociosidade de pessoas na realização das tarefas propostas. Assim, buscando a otimização de resultados com maior precisão, torna-se extremamente importante saber o que e como fazer para ter bons resultados. Nesse caso, incertezas devem ser descartadas a fim de diminuir riscos ou eliminá-los. Conforme a NBR ISO 31000:2009, empresas de todos os setores e tamanhos são influenciadas por fatores internos e externos que alteram a forma e como os objetivos serão atingidos, assim, essa incerteza é chamada de risco (ABNT, 2009).

Outro ponto que deve ser destacado é que com o passar dos anos a tecnologia passou a dominar muitas áreas, implementando melhorias e facilitando praticamente todos os tipos de atividades existentes. Porém, nem mesmo os algoritmos mais inteligentes atuais e inteligências artificiais conseguem substituir percepções humanas para análises ou implementações de estratégias nas organizações. Sendo assim, é uma ciência que auxilia em processos de decisão, de estratégia ou de controle em setores de atividades distintas, buscando sempre os melhores resultados. O termo PO teve sua origem na segunda guerra mundial, mas precisamente na Grã-Bretanha. Há fatos que comprovam o surgimento, porém, não existem evidências que comprovem sua origem.

O marco definitivo da afirmação da PO foi a publicação, por George Dantzig, em 1947, do Método Simplex para a Programação Linear. Com isso a Programação

Linear, tornou-se a primeira técnica explícita e permanece até hoje a mais fundamental de todas as técnicas da PO (PIZZOLATO, 2013, p.2).

Segundo Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), “PO é a área de conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áreas de atuação humana.”

Assim, com inúmeras técnicas, cada vez mais problemas complexos passaram a ser resolvidos com métodos quantitativos na PO para tomadas de decisões e escolha dos melhores resultados. Para a resolução dos problemas, são utilizados modelos icônicos, analógicos que são classificados como modelos mais gerais e de difícil entendimento, e há também modelos simbólicos, os quais são os mais utilizados na PO pela mais fácil interpretação e facilidade em implementações nos softwares computacionais.

2.1.1 Programação Linear

Para melhor definir o funcionamento do modelo de programação linear, primeiro há a necessidade de saber que um modelo básico necessita ter variáveis para decisões, a serem determinadas, deve ter um objetivo, ou seja, a necessidade estabelecida no problema a ser construído ou analisado. Por fim, também existem as restrições a serem seguidas, ou seja, são consideradas como limitantes ou como a necessidade mínima, máxima ou de igualdade que se deve ser atendida no modelo. Taha (2008, p.6) enfatiza que “A definição adequada das variáveis de decisão é uma primeira etapa essencial no desenvolvimento do modelo. Uma vez concluída, a tarefa de construir a função objetivo e as restrições torna-se mais direta”, com isso, após ter o modelo pronto, torna-se mais fácil seu uso, pois o que muda são apenas os valores caso o mesmo modelo tenha a necessidade de ser utilizado por mais vezes. Para os problemas de programação linear um conjunto de hipóteses deve existir para que o objetivo seja alcançado, essas devem ser, proporcionalidade entre os valores da função objetivo e de suas variáveis, aditividade para garantir a independência das entidades para que não ocorram termos cruzados na função objetivo e nas restrições, além dessas, a divisibilidade deve ser possível em todas as variáveis de decisão, garantindo que um valor seja

um valor fracionado qualquer, por fim, deve haver certeza de que os parâmetros são constantes e conhecidos, mas em casos reais, essa certeza nunca ocorre, por inúmeras situações influenciarem essa hipótese, havendo assim a necessidade de uma análise de sensibilidade de resultado para cada caso (LACHTERMACHER, 2009).

2.2 TOMADA DE DECISÃO

Em algum momento na resolução de um problema, uma decisão deve ser tomada, porém, para resolver situações como essa, objetivos e critérios são estabelecidos a fim de obter soluções ótimas ou próximas ao melhor resultado. Esse processo de obtenção de resultado é o passo a ser tomado, após a identificação do problema, assim como a análise de como resolvê-lo, além da oportunidade para essa realização. Nesse caso, quando não há incertezas no modelo, e todas as informações são importantes, é definido como determinístico, caso contrário, com a existência de incertezas, o modelo é definido como probabilístico (LACHTERMACHER, 2009).

Dessa forma, o conhecimento do problema a ser resolvido, mostra-se de extrema importância para a definição do tipo de modelo, pois quanto mais informações, melhor será a resolução e seu entendimento. Considerando esses fatores, com o uso da modelagem matemática e com a eficiência dos algoritmos computacionais atuais, a PO ajuda nos momentos em que decisões devem ser tomadas nas diferentes situações e análises de um problema complexo, dando por resultado a tomada de decisões com mais exatidão e por fim construindo sistemas mais eficientes e melhorando a produtividade dos mesmos (SOBRAPO, 2020).

2.3 LOGÍSTICA

A logística é uma das áreas que possui atividades relacionadas com a PO, pois são nessas atividades em que são buscadas melhorias como por exemplo, eficiência operacional, redução de custos, assim como otimização de processos. Uma definição de logística segue que:

É o processo de gerenciamento estratégico da compra, do transporte e da armazenagem de matérias-primas, partes e produtos acabados (além dos fluxos de informação relacionados) por parte da organização e de seus canais de marketing, de tal modo que a lucratividade atual e futura sejam maximizadas mediante a entrega de encomendas com o menor custo associado (CHRISTOPHER, 2009, p.3).

A otimização dos problemas relacionados a custos, armazenagem e transportes, podem ser alcançados com a implementação de modelos matemáticos, assim, quando definido o problema, o mesmo pode ser adaptado de acordo com a situação específica. O que acontece no fluxo da cadeia logística tem influência sobre todas as atividades com ela relacionadas, necessitando de decisões estratégicas precisas e que melhorem tanto a velocidade desse fluxo, a redução dos custos, como também seja uma forma de ganhar em competitividade dos concorrentes. Segundo Ballou (1993, p.24), a logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final. Com essa definição, pode-se confirmar que o transporte está em todas as etapas do processo logístico, onde para cada etapa devem ser tomadas decisões que busquem o meio, como e quando fazer esse transporte. Entretanto, na visão de Novaes (2007) a definição é dada como:

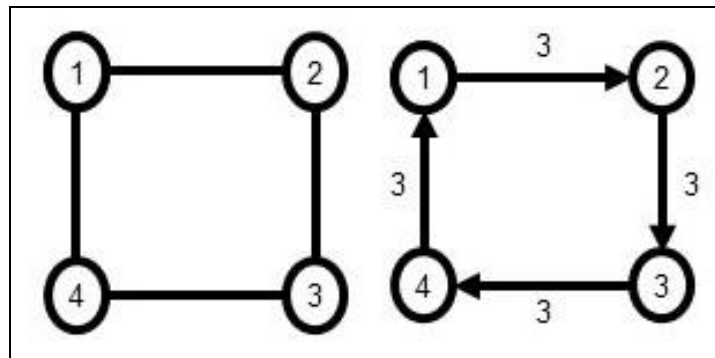
Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor (p.35).

Por fim, os conceitos mostram que a logística segue fluxos tanto de transporte como movimentação e armazenamento, de um ponto inicial até um ponto final buscando atender demandas ao menor tempo possível. Em um grande problema de rota, por exemplo, sua complexidade de formulação pode ser substancialmente reduzida, se todas as variáveis que são homogêneas entre os diferentes veículos são agregadas (PARRAGH, 2011).

2.4 GRAFOS

A teoria dos grafos foi criada em 1736 pelo matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783), o qual desenvolveu o método dos grafos, representando pontos e arestas, as quais representavam as pontes de sua cidade, em uma ilha, cortada por um rio. As pessoas tinham problemas de travessias, e assim ele desenvolveu o método para a realização das travessias, saindo e voltando para casa passando uma única vez por cada caminho, caso específico passando uma vez por cada ponte.

Figura 1 – Exemplo de grafos simples.



Fonte: Autoria Própria (2020).

A representação da posição entre dois pontos pode ser representada por um conjunto de símbolos, os quais são interligados por linhas, podendo ser direcionais ou não, através de setas conectoras, ou também chamadas de arestas, podendo ter a adição de valores, conforme Figura 1. Assim, o uso de um grafo na representação de posições de um ponto até outro, as distâncias têm os valores representados por números e simbolizadas por linhas. De certa forma, grafos ajudam análises visuais em determinados problemas simples e complexos, considerando as diversas aplicações, assim existem muitos algoritmos exatos e heurísticas para determinar caminhos e resolvê-los de forma mais rápida (BOAVENTURA NETTO, 2012).

2.5 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

De acordo com Goldbarg e Luna (2005), há muitas situações que surgem problemas com rotas, podendo ser essas no transporte de cargas, passageiros, rotas em postos de atendimentos, entre outras, nas quais, as mesmas são direcionadas a pontos específicos, como depósitos, localidades, postos de trabalhos, ou seja, há uma necessidade, e essa movimentação ou transporte estão diretamente ligados a ofertas ou demandas.

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é famoso por ter inúmeras aplicações para a resolução de situações reais através da programação matemática, mais conhecidos por problemas de roteamento, ele serve para definir rotas entre vários pontos, a fim de atender um objetivo. Para Erbao e Mingyong (2009) é difícil descrever os parâmetros do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) que são deterministas, pelo fato de existirem muitos dados incertos como as demandas dos clientes, o tempo de entrega, assim como também o conjunto de clientes que deverão ser visitados.

Sob a ótica de otimização, os problemas de roteirização de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil (do inglês "NP-hard"), o que significa que possuem ordem de complexidade exponencial. Em outras palavras, o esforço computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (dado pelo número de pontos a serem atendidos) (CUNHA, 2000, p.132).

Em termos de algoritmo, para a execução do mesmo, devem ser estabelecidos parâmetros para cada ponto como, por exemplo, distância, também deve ser definido um ponto inicial e o mesmo deve ser o final, fazendo com que o algoritmo escolha o menor caminho para percorrer, saindo de um ponto inicial, passando por todos os pontos, e retornando ao início, sem repetir os caminhos passados, sendo esse caminho chamado de ciclo hamiltoniano. Em problemas de menor caminho irão sempre existir entre a origem e o destino, alguns pontos, como cidades entre as rodovias, destinos de paradas ou entregas. Assim, o modelo do problema tem variáveis do tipo binárias X_{ij} , denotando o sentido entre as cidades i e j . Com isso, quando a variável resultar em 1, o caminho deve ser percorrido, caso

contrário, se o valor resultar em 0, esse caminho não deve ser percorrido (LACHTERMACHER,2009).

2.6 HEURÍSTICAS

As heurísticas podem ter alguns diferentes significados dependendo da área em que estiver inserida, mas na área de PO, elas são conhecidas por serem um método simples, uma estratégia ou uma sequência, que busque uma solução e facilite na tomada de decisão de um problema. São usadas para resolver problemas de médio e de grande porte para os quais a resolução exata esbarra em limitações computacionais, notadamente problemas da NP-Difíceis.

Para (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p.603):

Um método heurístico é um procedimento que provavelmente encontrará uma excelente solução viável, mas não necessariamente uma solução ótima, para o problema específico em questão. Não se pode dar nenhuma garantia sobre a qualidade da solução obtida, porém um método heurístico bem elaborado em geral é capaz de fornecer uma solução que se encontra pelo menos próxima da ótima (ou concluir que tais soluções na realidade não existem)

Com isso, é notável que as heurísticas resolvem problemas e, às vezes, podem encontrar soluções ótimas. Há heurísticas construtivas, as quais são criam soluções para iniciar a resolução, definidas a partir da forma que inicia, a forma de seleção e como serão inseridos dos dados na solução. Há também as heurísticas de melhorias, que seguem critérios definidos previamente e buscam alterações nas soluções já encontradas em busca de melhorias sucessivas, descartando as piores soluções.

2.6.1 Heurística do Vizinho Mais Próximo

A heurística do vizinho mais próximo é um método que resolve problemas de roteirizações, saindo de um ponto inicial e retornando ao mesmo ao fim de sua execução. Sua aplicação segue os seguintes passos:

1. Inicializar a busca da rota a partir de um vértice arbitrário;
2. Buscar o vértice mais próximo diferente do último vértice que foi visitado ou adicionado com menor valor de aresta;
3. Após visitar todos os vértices disponíveis, criar ou percorrer uma aresta de retorno ao vértice inicial.

Esse método resolve rapidamente a busca por caminhos mínimos em um grafo, porém, não necessariamente encontra a melhor solução, pois no grafo podem existir caminhos que poderiam ser menores.

2.7 ALGORITMOS

Os algoritmos presentes nos aparelhos eletrônicos não são exibidos aos usuários. Porém, quanto mais robusta a tecnologia ou o modo que os algoritmos em conjunto ou não executam as tarefas, eles passam a ter maior relevância na execução, seja por experiências que o algoritmo proporciona, pela velocidade de funcionamento ou somente pelo fato de o mesmo conseguir resolver o problema. “Na ciência da computação (informática) está associado a um conjunto de regras e operações bem definidas e ordenadas, destinadas à solução de um problema ou de uma classe de problemas, em um número finito de passos.” (MANZANO, J. A. N. G.; OLIVEIRA, J. F. 2016, p. 24).

Na era da informação, a velocidade na resolução de problemas é algo que sempre está em melhoria, seja para atender a demanda, ou para proporcionar novas experiências quando se consegue alcançar objetivos de forma mais rápida, como por exemplo, tempo de processamento em computadores, quanto mais evoluem, as memórias, os processadores, e seus componentes ficam mais robustos e aptos a novas modificações, mais eficientes se tornam os novos computadores e outros aparelhos derivados dessas tecnologias.

De acordo com Morais (2018, p.10. apud. Forbellone e Eberspacher, 2005), a lógica está relacionada à coerência e à racionalidade; lógica de programação é a racionalização dos processos formais da programação de computadores e algoritmo é a sequência de passos que visam atingir um objetivo bem definido.

A evolução da tecnologia também faz com que muitos algoritmos que eram simples, passem a ser robustos, e integrados em diversas outras tecnologias, em conjunto, sendo muitos inseridos nas chamadas inteligências artificiais, que seguem em constante atualização e inserção junto aos meios sociais para ajudar no dia a dia das pessoas em aplicativos, programas, sites, máquinas, entre outros.

Um algoritmo pode ser comparado com uma receita culinária e é dividido em dois blocos, um que seria os ingredientes, ou seja, os dados de entrada e outro bloco que seria o modo de preparo da receita, mais especificamente os parâmetros ou a sequência em que a lógica deve ser seguida (MANZANO, J. A. N. G.; OLIVEIRA, J. F. 2016). Essa “receita”, com o avanço da tecnologia, está sempre sendo alterada e atualizada, pois, especificamente inserida no uso dos *smartphones* e computadores, os algoritmos estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas, mesmo que imperceptíveis para muitos, é por meio do seu funcionamento, que a modernização de muitos serviços, através dos aplicativos, está acontecendo, ainda que ocorram muitos questionamentos e discussões sobre a segurança para os usuários com a diversidade de dados que são inseridos a todo momento no mundo digital nas diversas tecnologias usadas.

2.7.1 Algoritmo de Dijkstra

O Algoritmo de Dijkstra, foi desenvolvido no ano de 1959 por Edsger Wybe Dijkstra, o qual, trata-se de um método de resolução de problemas de otimização, sendo ele especificamente para busca por caminho mínimo entre vértices com aplicação a árvores de caminhos e grafos (ZAMBONI et al., 2007). Em sua execução, o algoritmo deve percorrer todos os vértices, sendo definido um vértice inicial e assim ocorrerá a verificação ponto a ponto, sendo armazenados os valores por vez, de acordo com o menor caminho e finalizando a execução após a visita de todos os vértices restantes e realiza sua execução no tempo $O(n^2)$.

O funcionamento desse algoritmo ocorre pela verificação dos caminhos presentes nos vértices, sejam esses, direcionados ou não, e ainda é capaz de determinar o caminho mínimo, partindo de um vértice-fonte ou ponto zero, para todos os outros vértices presentes no grafo, os quais não possuam arestas com

pesos negativos (CORMEN et.al., 2002). Ocorre também a técnica de relaxamento de arestas, onde são dados valores aos vértices, que se repetem temporariamente, continuando a busca a fim de melhoria no caminho armazenado, caso não haja mais vértices a serem visitados ou os valores das arestas sejam maiores, o valor da aresta nesse caminho fica armazenado de forma definitiva.

A execução do algoritmo de Dijkstra segue as seguintes etapas:

- Devem ser armazenados o número de todos os vértices v_i em um conjunto, o qual, também contenha os valores das arestas, de v_0 e de cada um dos vértices v_i a serem visitados;
- A cada visita a um vértice deve ser adicionado na sequência e armazenado o menor valor correspondente da aresta aos v_i visitados e repetir essa etapa até que não enquanto ainda houver vértice em todo o grafo;
- Após todas as verificações no grafo, o resultado construído pelo algoritmo de Dijkstra irá gerar um caminho mínimo a ser percorrido entre o v_0 , e o destino final.

2.7.2 Round Robin

O algoritmo *Round Robin* (RR) é muito utilizado na computação para a organização de processos, através de escalonamento, pois esse algoritmo permite que atividades sejam realizadas por uma sequência sem a priorização, mas podendo ser adaptado para resolver outras tarefas. Através de uma fila circular, essas atividades podem ser realizadas saindo de um ponto e retornando ao ponto inicial completando um ciclo, para reiniciar novamente, ou apenas para a sua finalização. Quando adaptado para o meio esportivo, o entendimento fica voltado para o escalonamento de partidas, que segue o regulamento de cada competição, podendo essas ser em turno único, ou em dois turnos.

De acordo com Biajoli (2007), o *Simple Round Robin* (SRR), disputados por n times (n par), cada time joga com cada um dos outros exatamente uma vez em $n-1$ rodadas. Já em torneios do tipo *Double Round Robin* (DRR) cada time joga com cada um dos outros duas vezes, sendo um jogo em casa e outro fora de casa, sem distinção de turnos.

Ou seja, nesse caso, os jogos ocorrem entre todos os times, duas vezes, sem que necessite ter uma ordem. Uma variação desse problema foi criada por Ribeiro e Urrutia (2004) e citado por Biajoli (2007, p.34) e adicionada ao algoritmo, e tendo seu aspecto similar aos modelos de campeonatos de futebol da América Latina assim como acontece no modelo do campeonato brasileiro de futebol, no qual, a sequência do primeiro turno, deve ser exatamente a mesma no segundo turno, com uma ressalva, os jogos em cada rodada, devem ter os mandos de campo invertidos ao primeiro turno.

Para competições em jogos únicos, o número de clubes define a quantidade de partidas a serem realizadas. Cada um dos clubes, deverá exatamente jogar $n-1$ partidas, em todo o turno, sendo esse o número de rodadas totais. Caso o número de participantes não seja par, um deles, fica com folga na rodada e o total de jogos é exatamente o número de participantes n .

Segundo Miyashiro et al. (2002), construir uma tabela para uma competição esportiva é uma importante tarefa para os organizadores, pois a tabela afeta não apenas os resultados dos jogos, mas também o rendimento da competição. Visto que a construção manual de uma tabela que atenda a todos os requisitos da competição e que possa ser implantada é muito difícil, a demanda por meios de escalonamentos automatizados vem crescendo, gerando cada vez mais interesse por parte da comunidade científica. (apud. BIAJOLI, 2007, p.37).

A sequência de atividades ou disputas, em que cada participante terá durante uma competição, está na tabela de jogos esportiva, na qual, os jogos não necessariamente precisam estar em ordem. Já, para organizar todos os participantes e realizar o confronto entre todos as combinações devem ser exatas para que não ocorram problemas no decorrer da competição.

3 METODOLOGIA

O uso de técnicas, procedimentos científicos, métodos teóricos e aplicados, servem para a resolução de inúmeros problemas, os quais, através do uso da pesquisa como o procedimento racional e sistemático, define como analisar e entender resultados através da análise de dados (GIL, 2002). Dessa forma, para melhor descrição do procedimento adotado, sendo assim, neste capítulo são apresentados o método e os passos utilizados para a realização da pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

3.1.1 Natureza

Esta pesquisa tem em sua finalidade a aplicada, a qual,

Tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. Sua preocupação está menos voltada para o desenvolvimento de teorias de valor universal que para a aplicação imediata numa realidade circunstancial (GIL, 2008, p.27)

A finalidade da pesquisa é a organização e elaboração de uma tabela para uma competição a ser disputada por equipes, a partir da utilização de algoritmos, com o critério que as sedes ou cidades sedes sejam os pontos de referências para a realização dos jogos, com as menores distâncias em deslocamentos possíveis por cada clube.

3.1.2 Abordagem

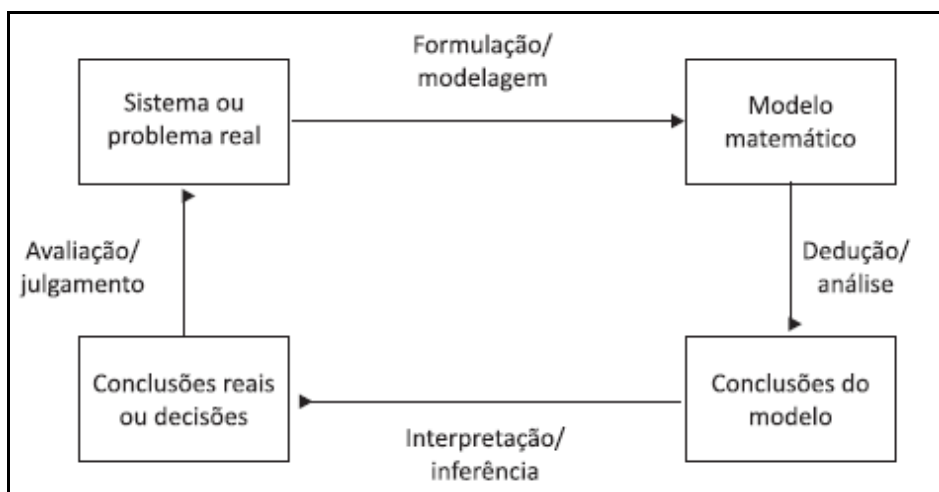
Existem 3 tipos de abordagem de pesquisa, qualitativa, quantitativa ou ambas. Segundo Fonseca (2002, p.20):

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc.

Nesse caso, essa pesquisa é definida como quantitativa, pois são utilizados dados coletados e utilizados para geração de resultados que podem ser quantificados. Porém, para Cauchick (2012), a pesquisa quantitativa pode ser subdividida em axiomática ou empírica. A primeira se baseia em premissas e permite entender o comportamento de variáveis presentes no modelo e assim como é capaz de manipula-las. Já a segunda é focada em fazer modelos para se adequarem as relações de causas presentes no problema real através de descobertas e medidas empíricas. Esses dois tipos de pesquisas, possuem subdivisões iguais entre elas, normativa e descritiva, portanto, a abordagem que mais se encaixa com esse trabalho, é a pesquisa axiomática descritiva, a qual “preocupa-se em analisar modelos quantitativos, principalmente com o propósito de entender o processo modelado ou explicar suas características” (CAUCHICK, 2012).

Uma forma de simplificar a abordagem para a resolução de um problema em relação à PO é através de um diagrama, o qual mostra as etapas do processo que compõem a metodologia presente em modelagem matemática, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Processo Simplificado de Modelagem Matemática.



Fonte: ARENALES (2007).

3.1.3 Objetivos

Para Seltiz et al. (1967, apud GIL, 2008, p.27), os objetivos de uma pesquisa podem ser classificados como exploratórios, descritivos e explicativos. Uma pesquisa exploratória, de acordo com Alyrio (2009, p.60) "... é caracterizada pela existência de poucos dados disponíveis, em que se procura aprofundar e apurar ideias e a construção de hipóteses". Com isso essa pesquisa mostra-se mais utilizada em temas menos explorados, ou seja, tem em sua característica a utilização de informações para buscas de resultados mais precisos.

Já a pesquisa descritiva é realizada com o auxílio de métodos de coleta de dados, os quais, devem ser bem específicos. "Dentre as pesquisas descritivas salientam-se aquelas que têm por objetivo estudar as características de um grupo: sua distribuição por idade, sexo, procedência, nível de escolaridade, nível de renda, estado de saúde física e mental etc." (GIL, 2008, p.28).

Por fim, uma pesquisa explicativa é como um complemento de pesquisas exploratórias e descritivas, sendo mais propensa a probabilidade de erros, pelo fato de realizar análises as quais devem ser interpretadas. Esse tipo de pesquisa tem como preocupação a identificação de fatores os quais determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, além de ser o a pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, pelo fato de explicar a razão e o porquê das coisas (GIL, 2008).

Dessa forma, o presente trabalho é definido como de carácter exploratório, pois visa obter um sequenciamento otimizado de rotas, a partir da coleta de dados e utilização de processos computacionais, os quais passam por 3 fases dentro de um modelo de PO. Conforme Cauchick (2012), essas 3 fases são: a dedução que é o momento da utilização das técnicas matemáticas e o auxílio da tecnologia, através de softwares e ou códigos computacionais, na realização dessa atividade até o momento das sugestões ou da conclusão do modelo. Em segundo, a interpretação, na qual, faz analisar se as condições são suficientes para a resolução do problema real. E por fim, a avaliação das decisões anteriores, mostra que sempre há necessidade de revisões, fazendo o ciclo continuar outra vez.

3.1.4 Procedimentos Técnicos

Os procedimentos técnicos adotados nessa pesquisa se deram por início com a elaboração de uma pesquisa bibliográfica reunindo os conceitos já estudados por outros autores, sendo realizada a partir de livros, artigos científicos e dissertações.

3.1.5 Procedimentos de Desenvolvimento

Os procedimentos de desenvolvimento do trabalho seguem a ordem conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de atividades do trabalho.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Após definição do problema e realizada a revisão bibliográfica, o desenvolvimento do trabalho ocorreu por meio de análises de fatores que tem influência direta nos possíveis resultados, assim, foram montadas as instâncias, as

quais serviram como alimentadoras do método adequado escolhido e desenvolvido para a otimização do problema definido.

3.1.6 Coleta e Análise de Dados

A análise de dados foi realizada a partir de experimentos com dados de uma competição esportiva estadual amadora, por meio da combinação na tabela de jogos e os dados de distâncias obtidos através do *software* Google Maps, com base nas sedes e cidades das equipes participantes. Com a utilização do *software* Code Blocks, e com a implementação em linguagem de programação C. Por fim, com o algoritmo implementado, foi verificado se os objetivos propostos foram atendidos e os resultados obtidos foram discutidos e analisados.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são descritas as etapas do desenvolvimento do método utilizado no presente trabalho. Mostram-se os dados coletados e as estruturas do problema e também os métodos utilizados, assim como a implementação do algoritmo no problema, com a base de dados de distâncias a partir de rotas rodoviárias exclusivamente.

4.1 A ORGANIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE JOGOS

Para a realização de uma sequência em tabela de jogos de uma competição esportiva, a elaboração da rota de cada equipe vai depender exatamente do cronograma definido previamente pela entidade que organiza a competição. Por uma tabela de confrontos, definida para cada equipe, são escolhidos os locais das partidas, conforme a sequência da tabela. Cada equipe tem o seu planejamento, podendo assim realizar como desejar o deslocamento para a cidade da equipe mandante ou se o jogo é de seu próprio mando, não realiza o deslocamento para outra sede. Essa organização se aplica a competições envolvendo equipes de diferentes modalidades.

Nos casos em que partidas são realizadas na mesma cidade, é necessária a verificação se as equipes mandantes possuem sedes diferentes e próprias para mando de jogo, se a verificação for positiva, a equipe visitante se desloca para o jogo na casa da equipe mandante, pode ocorrer divisão de concessão da mesma sede, sendo assim, o mando de jogo da sede é alternado entre as equipes em cada jogo, e por fim, caso a equipe não possua uma sede para mando de jogo, deve ser definido previamente uma sede pública da cidade ou locar alguma particular para uso nos dias em que necessitar de mando de partida para disputa de jogos.

Para uma competição esportiva, quanto maior o número de equipes participantes, mais complexa é a sua organização, em razão do número de partidas que podem ocorrer e entre as combinações possíveis. Não é trivial montar uma tabela de jogos sem o auxílio de um algoritmo, pois ocorrem muitas chances para que erros básicos aconteçam. Assim, para que sejam distribuídas todas as partidas

entre todos as equipes, são elaboradas rodadas, de modo que todas as equipes jogam contra apenas um adversário por vez. A criação, adaptação, ou uso de um algoritmo, passam a ter maior relevância para definir cada partida e cada rodada conforme as restrições presentes no regulamento da competição.

4.2 COMPETIÇÃO ESPORTIVA CONSIDERADA NO ESTUDO

Para o desenvolvimento deste trabalho é considerada uma competição esportiva hipotética de abrangência estadual na qual equipes localizadas em diferentes cidades se enfrentam em jogos nos quais são mandantes ou visitantes. Para que experimentos pudessem ser realizados, não possuindo dados disponíveis de competições amadoras, foram utilizados dados de localização de equipes de uma competição existente, mas sem o intuito de propor soluções para essa competição específica, visto que a organização da mesma envolve diversos outros fatores não considerados no presente trabalho. Por tal razão a competição esportiva hipotética considerada nos experimentos serve somente como exemplo de aplicação dos métodos heurísticos visando ilustrar que os mesmos poderão ser aplicados a competições esportivas de diferentes modalidades que se enquadrem nas estruturas de competições propostas.

A competição esportiva hipotética utilizada neste trabalho considera haver 12 equipes e cada uma dessas equipes enfrenta as demais realizando assim 11 jogos. A competição pode ter turno único ou turno e retorno.

Cada equipe participante é identificada por um número, de 1 a 12. A sede de cada equipe é identificada pelo mesmo número que identifica a equipe. Assim, de acordo com o Quadro 1, foram separadas as 12 equipes participantes. No Quadro 1, também consta, para cada equipe a identificação de sua sede, local de seu mando de jogo. Nesta competição há equipes com sedes na mesma cidade e também há equipes que compartilham a mesma sede.

Quadro 1 – Equipes participantes.

Nº	Equipe	Cidade Sede	Nome da Sede
1	Equipe 1	Curitiba	Sede 1
2	Equipe 2	Cascavel	Sede 2-5
3	Equipe 3	Cianorte	Sede 3
4	Equipe 4	Curitiba	Sede 4
5	Equipe 5	Cascavel	Sede 2-5
6	Equipe 6	Londrina	Sede 6
7	Equipe 7	Ponta Grossa	Sede 7
8	Equipe 8	Curitiba	Sede 8
9	Equipe 9	Cornélio Procópio	Sede 9
10	Equipe 10	Paranaguá	Sede 10
11	Equipe 11	Toledo	Sede 11
12	Equipe 12	Francisco Beltrão	Sede 12

Fonte: Autoria Própria (2021).

As equipes estão distribuídas geograficamente no estado do Paraná. A Figura 4 ilustra a localização de cada equipe no estado, conforme as numerações das equipes descritas no Quadro 1.

Figura 4 – Posição geográfica das equipes no estado do Paraná.



Fonte: Adaptado de Freepick (2021).

Os confrontos de todas as rodadas da competição, que é em SRR, estão em ordem de rodadas, no Quadro 2.

Quadro 2 – Jogos da competição.

Tabela de Jogos		
Rodada	Mandante	Visitante
1ª Rodada	Equipe 12	Equipe 1
	Equipe 10	Equipe 8
	Equipe 6	Equipe 9
	Equipe 11	Equipe 3
	Equipe 7	Equipe 2
	Equipe 4	Equipe 5
2ª Rodada	Equipe 6	Equipe 3
	Equipe 11	Equipe 12
	Equipe 5	Equipe 7
	Equipe 1	Equipe 9

Tabela de Jogos		
Rodada	Mandante	Visitante
	Equipe 2	Equipe 8
	Equipe 4	Equipe 10
3ª Rodada	Equipe 1	Equipe 6
	Equipe 5	Equipe 2
	Equipe 3	Equipe 12
	Equipe 7	Equipe 10
	Equipe 9	Equipe 11
	Equipe 8	Equipe 4
4ª Rodada	Equipe 10	Equipe 2
	Equipe 11	Equipe 6
	Equipe 4	Equipe 7
	Equipe 12	Equipe 9
	Equipe 8	Equipe 5
	Equipe 3	Equipe 1
5ª Rodada	Equipe 6	Equipe 4
	Equipe 10	Equipe 12
	Equipe 9	Equipe 5
	Equipe 2	Equipe 11
	Equipe 7	Equipe 3
	Equipe 1	Equipe 8
6ª Rodada	Equipe 4	Equipe 12
	Equipe 5	Equipe 1
	Equipe 7	Equipe 9
	Equipe 11	Equipe 10
	Equipe 6	Equipe 2
	Equipe 8	Equipe 3
7ª Rodada	Equipe 10	Equipe 5
	Equipe 1	Equipe 11
	Equipe 2	Equipe 4
	Equipe 12	Equipe 6
	Equipe 3	Equipe 9
	Equipe 8	Equipe 7
8ª Rodada	Equipe 4	Equipe 3
	Equipe 12	Equipe 7
	Equipe 1	Equipe 2
	Equipe 9	Equipe 8
	Equipe 5	Equipe 11
	Equipe 6	Equipe 10
9ª Rodada	Equipe 11	Equipe 4
	Equipe 7	Equipe 1
	Equipe 2	Equipe 12

Tabela de Jogos		
Rodada	Mandante	Visitante
	Equipe 3	Equipe 5
	Equipe 10	Equipe 9
	Equipe 8	Equipe 6
10 ^a Rodada	Equipe 1	Equipe 10
	Equipe 2	Equipe 3
	Equipe 8	Equipe 12
	Equipe 9	Equipe 4
	Equipe 7	Equipe 11
	Equipe 5	Equipe 6
11 ^a Rodada	Equipe 4	Equipe 1
	Equipe 9	Equipe 2
	Equipe 12	Equipe 5
	Equipe 6	Equipe 7
	Equipe 11	Equipe 8
	Equipe 3	Equipe 10

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para a realização dos cálculos das distâncias dos jogos entre cada equipe escolheu-se como ponto de referência a sede de mando de jogo. Todos os dados coletados e utilizados para os cálculos usam distâncias rodoviárias. As distâncias em quilômetros, entre as sedes das equipes, foram obtidas através do Google Maps, e armazenadas na Tabela 1, a qual define-se como assimétrica, pelo fato de que foram utilizados dados reais, ou seja, existem variações em algumas distâncias entre uma sede e outra, entre as rotas de idas e voltas. Conforme apresentado no Quadro 1, a Equipe 2 e a Equipe 5, utilizam a Sede 2-5, assim, na tabela de distância, a repetição da sede, seguirá a posição de ambas as equipes em ordem numérica crescente, sendo a posição 2 para a Equipe 2 e a posição 5 para a Equipe 5 seguindo a mesma ordem na Tabela 1.

Tabela 1 – Distância entre as sedes das equipes em quilômetros.

		DISTÂNCIAS (KM)												
		SEDE DE DESTINO												
SEDE DE ORIGEM	Sedes	Sede 1	Sede 2-5	Sede 3	Sede 4	Sede 2-5	Sede 6	Sede 7	Sede 8	Sede 9	Sede 10	Sede 11	Sede 12	
		Sede 1	0	502	520	6	502	428	113	4	402	90	542	471
		Sede 2-5	504	0	227	505	0	375	412	506	440	600	48	174
		Sede 3	506	227	0	508	227	178	394	509	243	603	215	400
		Sede 4	5	503	531	0	503	428	114	3	402	89	542	471
		Sede 2-5	504	0	227	505	0	375	412	506	440	600	48	174
		Sede 6	391	377	181	392	377	0	278	393	67	487	377	519
		Sede 7	115	429	458	116	429	319	0	117	293	211	469	398
		Sede 8	3	504	533	5	504	429	115	0	404	88	543	472
		Sede 9	409	441	245	411	441	67	295	413	0	506	442	580
		Sede 10	91	601	630	91	601	526	212	88	501	0	640	569
		Sede 11	543	47	215	544	47	377	451	545	442	639	0	215
		Sede 12	472	200	417	473	200	519	380	474	579	568	252	0

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.2.1 Restrições da Competição

Assim como ocorre em um processo, no qual, uma sequência de atividades deve ser estabelecida, a fim de chegar em um objetivo e obter um resultado, em uma competição esportiva muitas regras são previamente estabelecidas e impostas, a fim de obter um resultado lógico e plausível. As restrições para a modelagem de disputa na competição devem ser válidas e igualitárias a todos os participantes, tornando um modelo viável e possível ser realizado, ou seja, para cada estrutura de disputa diferente devem ser criadas ou adaptadas novas restrições. Os formatos das estruturas de disputas a serem executadas na competição devem buscar um

equilíbrio entre a otimização e o contexto externo, que pode ser gerado a partir das mudanças propostas da teoria.

A realização de uma fase da competição em apenas 1 turno reduz e altera restrições de acordo com as estruturas específicas de disputas. As restrições 1 e 2:

1. Cada participante deve jogar apenas uma vez por rodada; e
2. Cada participante deve jogar contra todos os adversários.

Outras restrições podem ser implementadas e adaptadas conforme a proposta de realização de cada estrutura de competição.

Neste trabalho são analisadas as rotas e as distâncias das 12 equipes participantes. Do mesmo modo são propostas estruturas de competição utilizando as mesmas equipes para comparação igualitária entre os deslocamentos totais e individuais. Além disso, para esse trabalho, são desconsideradas a realização de partidas em datas distintas e a participação das equipes em outras competições.

As estruturas de competição 1 e 2 utilizam a tabela apresentada no Quadro 2 e com elas não foi utilizado o algoritmo para otimização. Ao contrário, foram apenas analisados teoricamente os somatórios das distâncias, a fim da obtenção de resultados para análise com as outras estruturas, conforme as propostas de deslocamento. Já com o uso do algoritmo, na estrutura de competição 3 não foi modificada a tabela de jogos, porém, a ordem dos jogos pode ser modificada, pois não serão consideradas rodadas na separação dos jogos. A estrutura de competição 4, tem a tabela em jogos com 2 turnos, ou seja, as equipes tem 2 confrontos contra cada adversário e assim como a estrutura de competição 3, os jogos também não serão separados por rodadas na organização das tabelas, apenas as combinações são relevantes a fim de mostrar caminhos para cada equipe.

4.3 O ALGORITMO

Para a obtenção dos resultados, foram utilizados 3 métodos heurísticos e implementados, com isso, 3 resultados foram obtidos para cada equipe dentro da estrutura apresentada. A primeira heurística é construtiva pois ela serve como a

base para formar um caminho para a solução e assim é chamada de solução heurística inicial. Já a segunda forma de resolução utiliza uma heurística de melhoria pois ela busca melhores resultados com base no resultado encontrado na solução inicial. Por fim, a terceira heurística utilizada é construtiva e de melhoria, pois de início monta um caminho e armazena a solução com a sequência de vértices a serem visitados a partir de uma ordem aleatória. Dessa forma, após o sorteio e o somatório das distâncias, quando um valor menor é encontrado, a sua solução é armazenada, até que ocorra toda a repetição definida para encontrar as possíveis soluções do problema. O algoritmo utilizado nesse trabalho foi obtido de Assis (2018) e adaptado com os métodos heurísticos de modo que atendesse a resolução do problema.

No Quadro 3 são apresentados os pseudocódigos dos métodos utilizados, denominados Solução Heurística Inicial, Solução Heurística Melhor Vizinho e Solução Heurística Seleção Aleatória.

Quadro 3 – Pseudocódigo Solução Heurística Inicial.

<p>Solução Heurística Inicial (Entrada: grafo dos jogos de uma equipe como visitante)</p>
<p>Início Define o vértice inicial e final como a sede da equipe cuja rota está em elaboração;</p>
<p>enquanto houver vértice ainda não incluído na rota: Adicione como próximo vértice da rota o vértice ainda não incluído na rota que está mais próximo do vértice último vértice adicionado;</p>
<p>fim enquanto Calcule somatório das distâncias percorridas na rota elaborada; Devolva a solução;</p>
<p>Fim.</p>

Fonte: Autoria Própria (2021).

O pseudocódigo, conforme o Quadro 3, chamado de Solução Heurística Inicial, realiza a busca dos caminhos possíveis por meio de uma heurística gulosa que, apenas gera uma solução inicial, a qual começa pelo vértice definido como inicial e elabora um caminho, escolhendo o vértice mais próximo a cada iteração e não realiza retorno ao vértice anterior ou a outro vértice já incluso na sequência, com exceção ao vértice inicial, o qual é incluído ao fim do caminho após ter sido inseridos todos os vértices disponíveis da sequência.

Quadro 4 – Pseudocódigo Solução Heurística Melhor Vizinho.

Solução Heurística Melhor Vizinho (Entrada: grafo dos jogos de uma equipe como visitante)

Início

Define o vértice inicial e final como a sede da equipe cuja rota está em elaboração;

enquanto houver vértice ainda não incluído na rota:

Adicione como próximo vértice da rota o vértice ainda não incluído na rota que está mais próximo do último vértice adicionado;

fim enquanto

Substitua o vértice subsequente ao inicial por cada vértice disponível da sequência do caminho e armazene a solução com menor valor do somatório das distâncias.

Repita o processo a partir do 3º vértice até não existirem mais vértices para serem testados e substituídos.

Armazene a sequência definida com o menor valor do somatório das distâncias.

Calcule o somatório das distâncias percorridas na rota elaborada;

Devolva a solução;

Fim.

Fonte: Autoria Própria (2021).

O segundo método, conforme o Quadro 4, chamado de Solução Heurística Melhor Vizinho, semelhante ao primeiro, realiza a mesma busca, porém, os vértices visitados por vez, ficam alterando em busca de melhores resultados, em uma constante comparação, até que o mesmo encontre os caminhos alternativos. Porém esse método torna-se limitado após as verificações de cada vértice subsequente, pois não há um comando para que as verificações ocorram outra vez alternado as posições de cada vértice na sequência.

Quadro 5 – Pseudocódigo Solução Heurística Seleção Aleatória.

Solução Heurística Seleção Aleatória (Entrada: grafo dos jogos de uma equipe como visitante)

Início

Define o vértice inicial e final como a sede da equipe cuja rota está em elaboração;

enquanto houver vértice ainda não incluído na rota:

Adicione como próximo vértice da rota o vértice ainda não incluído na rota que está mais próximo do vértice último vértice adicionado;

fim enquanto

Para $i = 0$ até $i < 10.000.000$ **faça**

Substitui o vértice subsequente ao inicial por cada vértice disponível da sequência do caminho e armazena a solução com menor valor do somatório das distâncias.

Repete o processo a partir do 3º vértice até não existirem mais vértices para serem testados e substituídos.

Solução Heurística Seleção Aleatória (Entrada: grafo dos jogos de uma equipe como visitante)

Armazena a sequência definida com o menor valor do somatório das distâncias.

Calcule somatório das distâncias percorridas na rota elaborada;

Devolva a solução;

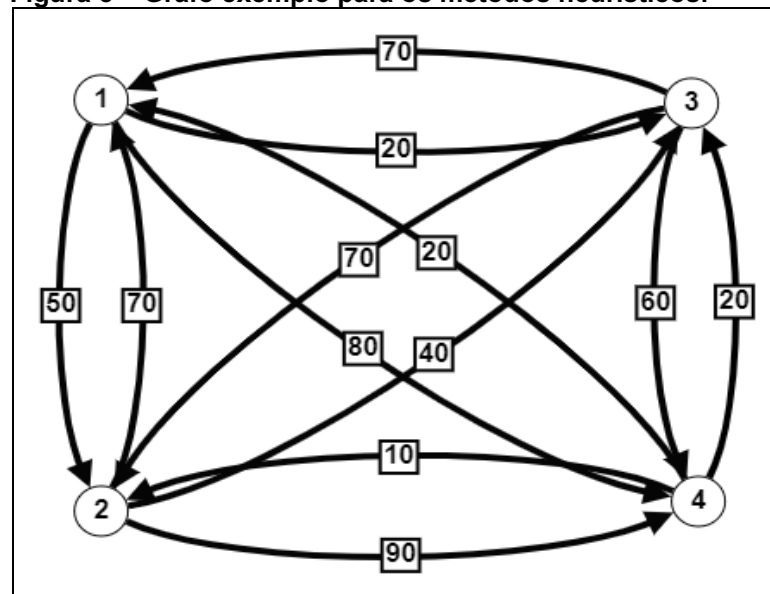
Fim.

Fonte: Aatoria Própria (2021).

Já o terceiro método heurístico utilizado, de acordo com o Quadro 5, chamado de Solução Heurística Seleção Aleatória, realiza a busca através de cada vértice pelo mesmo modo da Solução Heurística Melhor Vizinho, mas os números que o vetor busca, são gerados aleatoriamente, para que assim, a busca não seja realizada sempre a partir dos mesmos vértices mais próximos sucessivamente e assim, esse sorteio realiza 10 milhões de verificações sucessivas no grafo alternando as posições de cada vértice subsequente ao que foi definido inicialmente, sendo escolhido ao fim, somente o melhor valor entre as soluções encontradas.

Para melhor visualização e compreensão das heurísticas utilizadas a Figura 5 exemplifica um grafo de 4 vértices, os quais representam a origem ou destino e com arestas, que representam as distâncias com valores definidos. Assim, a Figura 5 mostra os caminhos possíveis obtidos por cada uma das heurísticas conforme o grafo exemplo apresentado.

Figura 5 – Grafo exemplo para os métodos heurísticos.



Fonte: Aatoria Própria (2021).

Para todas as soluções a seguir o vértice inicial escolhido foi o número 1. Os caminhos encontrados, conforme a execução dos 3 métodos heurísticos utilizados para esse exemplo, a sequência em ordem da esquerda para a direita, foram:

- Caminho da solução heurística inicial: $\{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 1\}$, com solução de 200 quilômetros.
- Caminho da solução heurística melhor vizinho: $\{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1\}$, com solução de 160 quilômetros.
- Caminho da solução heurística seleção aleatória: $\{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1\}$, com solução de 160 quilômetros.

Percebe-se que houve mudança da solução heurística inicial para as outras, assim como a solução heurística do melhor vizinho encontrou o mesmo resultado da solução heurística por seleção aleatória. Para elaboração de uma nova tabela de jogos, com um novo sorteio, ou inversão de mandos de campos, primeiramente em casos número de equipes par, metade desses devem ter prioridade de um jogo a mais de mando de campo. Para realização de competição em turno único, a tabela deve ser distribuída em duas partes, jogos mandantes e jogos visitantes. Deve-se seguir a restrição de não permitir no sorteio o jogo com a repetição de uma equipe contra o ela própria.

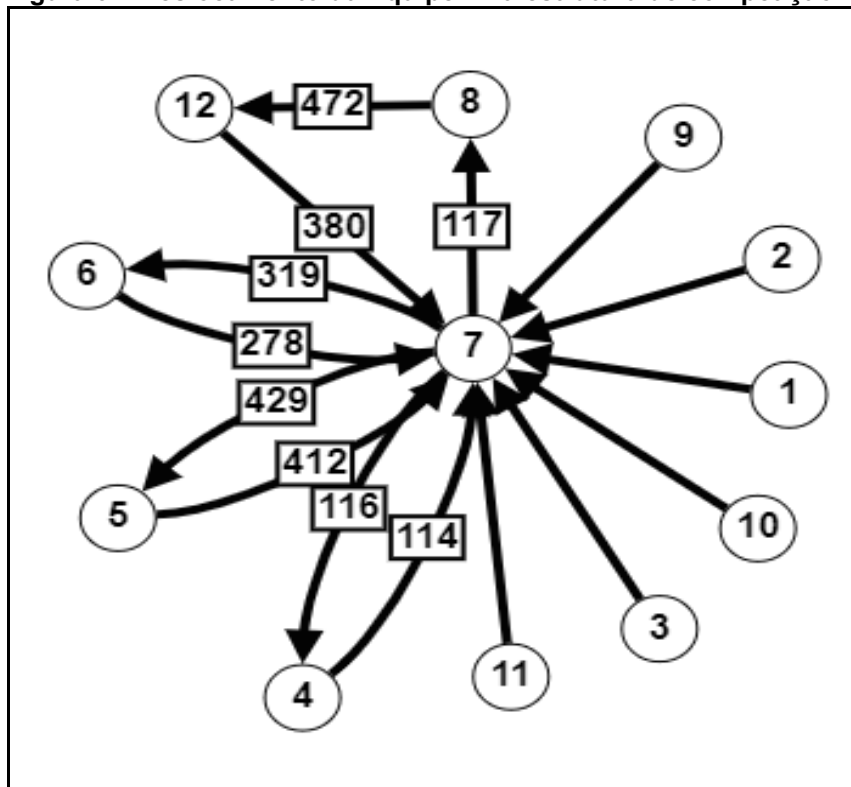
As equipes realizam 11 jogos, com prioridade de um jogo a mais como mandante as 6 primeiras colocadas da edição anterior da competição. Assim, na divisão da tabela para sorteio, essas equipes ficam disponíveis 6 vezes cada no lado mandante e 5 vezes no lado visitante. Já as equipes que não tem essa prioridade, ficam de forma oposta com 6 jogos como visitantes e 5 jogos como mandantes. Dessa forma, é possível realizar o sorteio e haverá o confronto entre todas as equipes, em 11 rodadas sem a repetição de jogos.

4.4 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 1

Na primeira estrutura de competição as rotas individuais das equipes seguiram exatamente a tabela de jogos do Quadro 2 e foram realizados os somatórios das distâncias de cada partida por equipe conforme a sua sequência de

jogos seguindo a ordem por rodada da tabela. Cada equipe que realiza o jogo como mandante, sua distância de jogo é considerada igual a zero, já a equipe que realiza a partida como visitante, é considerada a distância de sua sede até a sede da equipe adversária. Nesse formato, a equipe que viajar para um jogo como visitante, em caso de outro jogo seguido como visitante, não necessita realizar a volta para a própria sede. Assim, a equipe após o jogo, viaja diretamente para a sede do próximo adversário quando possível.

Figura 6 – Deslocamento da Equipe 7 na estrutura de competição 1.



Fonte: Autoria Própria (2021).

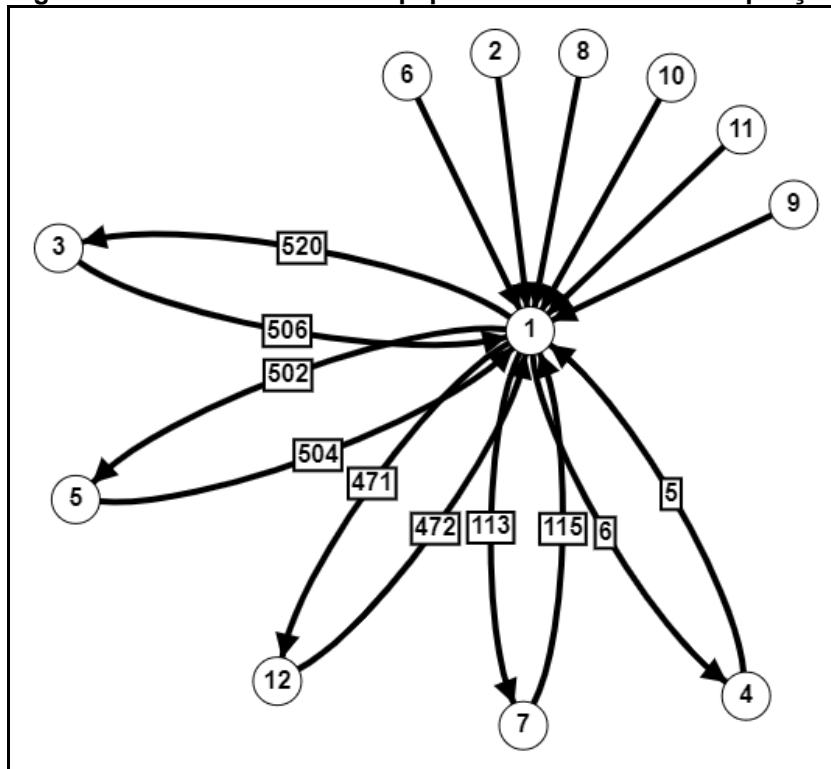
Na Figura 6, a Equipe 7, é representada ao centro do grafo pelo número 7, e mostra-se como exemplo, o deslocamento individual através das setas saindo do ponto 7, já as setas direcionadas ao ponto 7 e sem valor sobre elas, representam os jogos a serem realizados como mandante. Os pontos restantes, entre 1 e 12, representam todas as outras equipes participantes. O somatório de todas as distâncias percorridas é o total individual percorrido pela equipe. Os jogos das rodadas em que as equipes forem mandantes, por exemplo, a Equipe 7, representado ao centro da Figura 6, como número 7, não são consideradas as

distâncias das arestas dos adversários direcionadas a equipe, pois os jogos como mandante de cada equipe, as distâncias consideram-se igual a zero.

4.5 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 2

Na segunda estrutura, seguindo a mesma tabela de jogos do Quadro 2, a única mudança em relação a estrutura anterior é o fato de que cada equipe visitante deve sair e retornar a própria sede na rodada, independente do próximo jogo na rodada. Essa pequena mudança pode gerar impacto tanto positivo, quanto negativo, ou ser neutro dependendo da combinação de jogos na tabela.

Figura 7 – Deslocamento da Equipe 1 na estrutura de competição 2.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O grafo representado na Figura 7 tem a Equipe 1 como exemplo, representada ao centro do grafo pelo número 1, e mostra-se o deslocamento individual através das setas saindo do ponto 1. Já as setas direcionadas ao ponto 1 e sem valor sobre elas representam os jogos a serem realizados como mandante. Nota-se que nesse caso, a Equipe 1 realiza 6 jogos como mandante e 5 jogos como

visitante, sendo evidenciadas nas arestas as distâncias percorridas nos jogos como visitante apenas.

4.6 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 3

Nessa estrutura de competição foram utilizados os 3 métodos heurísticos para a resolução do problema, os quais buscaram encontrar caminhos mínimos para cada equipe. Sua execução foi realizada e foram obtidas soluções individuais para cada equipe. Para realizar a execução do algoritmo e fazer a busca, primeiramente a matriz de distâncias, da Tabela 1, foi adaptada para cada equipe, sendo reduzido o grafo inicial para novos grafos nos quais ficaram somente as sedes dos adversários onde os jogos que foram realizados como visitantes, de acordo com o Quadro 2, ou seja, não alterando a combinação dos jogos estabelecidos previamente. Dessa forma, nos jogos em que cada equipe está como mandante não são consideradas as distâncias, ficando estabelecidas com valor igual a zero.

Nas estruturas de competições que são apresentados os métodos heurísticos utilizados, os jogos das equipes, não são divididos por rodadas. Para a redução do grafo inicial, a eliminação das linhas e colunas ocorreram conforme a ordem de jogos do Quadro 2. Após a eliminação da linha ou coluna, ocorre a atualização do grafo em ordem decrescente, por exemplo, a sede da posição linha 2 e coluna 2 sendo retirado da lista de confrontos adversários, a equipe que estiver na posição linha 3 e coluna 3, decresce no grafo, e atualiza sua posição para linha 2 e coluna 2, conforme mostra-se nos exemplos da Tabela 2 com 4 sedes, sendo atualizada e gerando um novo grafo, conforme Tabela 3, com a posição da sede 4 atualizada, restando apenas 3 sedes. A partir das matrizes novas, conseqüentemente novos grafos são gerados com os dados atualizados para cada equipe.

Tabela 2 – Exemplo de matriz com 4 sedes.

Sedes	Sede 1	Sede 2	Sede 3	Sede 4	
Sede 1	0	999	999	999	0
Sede 2	999	0	999	999	1
Sede 3	999	999	0	999	2
Sede 4	999	999	999	0	3
	0	1	2	3	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 3 – Exemplo de matriz com 3 sedes.

Sedes	Sede 1	Sede 2	Sede 4	
Sede 1	0	999	999	0
Sede 2	999	0	999	1
Sede 4	999	999	0	2
	0	1	2	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para as verificações do algoritmo, foram atualizadas as posições iniciais das equipes nos grafos, assim como também o ponto de vértice inicial do algoritmo para o mesmo vértice da equipe em questão para ter início e fim iguais. Os grafos das equipes com 6 jogos como mandantes ficaram com a matriz em tamanho 6x6, por realizarem 5 jogos como visitantes apenas, pois nessa matriz uma das linhas e uma das colunas deve ficar armazenada a posição do vértice para início e fim da rota.

Do mesmo modo, as equipes com 5 jogos como mandantes e 6 como visitantes, recebem a matriz de tamanho 7x7, pois assim, o algoritmo buscará o menor caminho através de cada meta-heurística para cada jogo como visitante. Conforme dito previamente, no algoritmo, cada equipe é representada por uma sede, exceto a Equipe 2 e a Equipe 5 que por utilizarem a mesma sede não seguem o mesmo padrão que qualquer uma das outras equipes, pois para cada uma dessas equipes, foram definidas posições na Tabela 1, sendo a posição 2 para a Equipe 2 e a posição 5 para a Equipe 5.

Os dados presentes nos grafos representam os valores das arestas, as quais recebem os valores das distâncias entre as sedes em que foram realizados os jogos pelas equipes na estrutura inicial. A organização e a representação do grafo no algoritmo seguem a Tabela 4, na qual a Equipe 1 é a equipe representada nesse exemplo em que constam apenas as sedes dos adversários e suas respectivas

distâncias. No cálculo realizado pelo algoritmo, o caminho é percorrido por todos os vértices, até que não tenha mais nenhum a ser visitado e para que assim ocorra o retorno a origem, a qual, nesse exemplo, está na linha e coluna representada por 0 em nova posição da matriz.

Tabela 4 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 1 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 3	Sede 4	Sede 2-5	Sede 7	Sede 12	
Sede 1	0	520	6	502	113	471	0
Sede 3	506	0	508	227	394	400	1
Sede 4	5	531	0	503	114	471	2
Sede 2-5	504	227	505	0	412	174	3
Sede 7	115	458	116	429	0	398	4
Sede 12	472	417	473	200	380	0	5
	0	1	2	3	4	5	Nova Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

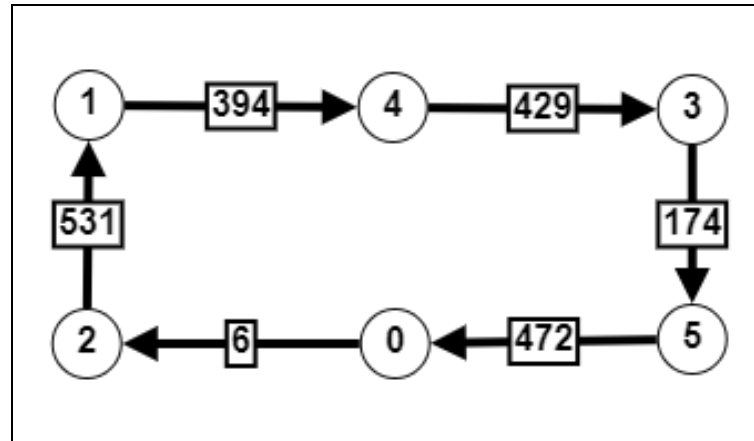
Com os dados da Tabela 4, os caminhos encontrados no grafo foram:

- Caminho do método heurístico solução inicial:
{0→2→1→4→3→5→0}
- Caminho do método heurístico solução melhor vizinho:
{0→2→4→1→3→5→0}
- Caminho do método heurístico solução vizinho seleção aleatória:
{0→2→5→3→1→4→0}

Para melhor entender os caminhos apresentados anteriormente, os números em sequência da esquerda para a direita, representam as sedes e as equipes mandantes dos jogos respectivamente. O caminho dos confrontos desse grafo em específico a ser realizado pela Equipe 1, por exemplo, com o resultado obtido pelo

Método Heurístico Solução Inicial, a sequência dos jogos contra as equipes adversárias, será de acordo com a Figura 8:

Figura 8 – Deslocamento conforme matriz do grafo Equipe 1.

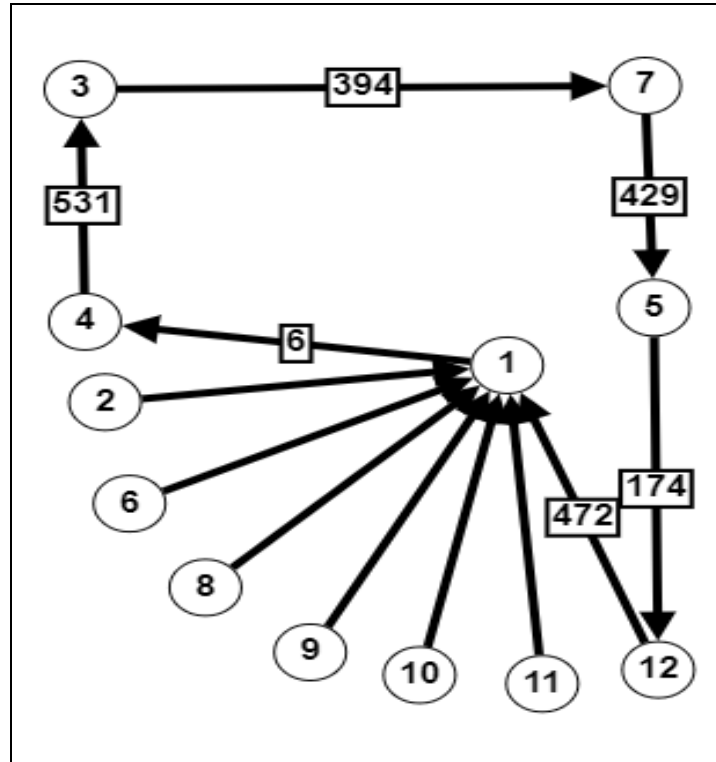


Fonte: Autoria Própria (2021).

1. Posição inicial da Equipe 1 (Sede 1);
2. Vai ao número 2, Sede 4, confronto com a Equipe 4;
3. Vai ao número 1, Sede 3, confronto com a Equipe 3;
4. Vai ao número 4, Sede 7, confronto com a Equipe 7;
5. Vai ao número 3, Sede 2-5, confronto com a Equipe 5;
6. Vai ao número 5, Sede 12, confronto com a Equipe 12;
7. Retorna a posição inicial (Sede 1).

Vale destacar que nessa sequência apresentada de deslocamento estão sendo considerados somente os jogos em que a equipe é visitante. Ou seja, no restante dos jogos, a distância a ser percorrida pela equipe é nula. A visualização dessa sequência segue na Figura 9, com o grafo de forma visual com as arestas direcionadas a cada vértice das outras equipes, sendo ligadas diretamente ao centro, dos jogos a receber como mandante e já com os valores das equipes atualizados novamente de acordo com ordem numérica do Quadro 1.

Figura 9 – Deslocamento da Equipe 1 na estrutura de competição 3.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Como explicado nesse exemplo, a sequência de cada equipe segue o mesmo formato de execução para todas as outras equipes restantes. A tabela de jogos entre as equipes nessa estrutura também é a mesma das estruturas 1 e 2, ou seja, tem a mesma combinação de jogos, tanto para os jogos das equipes como mandantes, quanto visitantes. Nessa estrutura, os jogos como visitante de cada equipe estão organizados com o foco na minimização das rotas através do uso do algoritmo. A continuação de matrizes atualizadas e utilizadas nos métodos heurísticos, em ordem numérica para cada equipe na estrutura de competição 3, de acordo com os jogos como visitantes são apresentadas, conforme a sequência crescente de Tabelas de 5 a 15:

Tabela 5 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 2 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 2-5	Sede 2-5	Sede 6	Sede 7	Sede 9	Sede 10	
Sede 1	0	502	502	428	113	402	90	0
Sede 2-5	504	0	0	375	412	440	600	1
Sede 2-5	504	0	0	375	412	440	600	2
Sede 6	391	377	377	0	278	67	487	3
Sede 7	115	429	429	319	0	293	211	4
Sede 9	409	441	441	67	295	0	506	5
Sede 10	91	601	601	526	212	501	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 6 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 3 para a estrutura 3.

Sede	Sede 2-5	Sede 3	Sede 4	Sede 6	Sede 7	Sede 8	Sede 11	
Sede 2-5	0	227	505	375	412	506	48	0
Sede 3	227	0	508	178	394	509	215	1
Sede 4	503	531	0	428	114	3	542	2
Sede 6	377	181	392	0	278	393	377	3
Sede 7	429	458	116	319	0	117	469	4
Sede 8	504	533	5	429	115	0	543	5
Sede 11	47	215	544	377	451	545	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 7 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 4 para a estrutura 3.

Sede	Sede 2-5	Sede 4	Sede 6	Sede 8	Sede 9	Sede 11	
Sede 2-5	0	505	375	506	440	48	0
Sede 4	503	0	428	3	402	542	1
Sede 6	377	392	0	393	67	377	2
Sede 8	504	5	429	0	404	543	3
Sede 9	441	411	67	413	0	442	4
Sede 11	47	544	377	545	442	0	5
	0	1	2	3	4	5	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 8 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 5 para a estrutura 3.

Sede	Sede 3	Sede 4	Sede 2-5	Sede 8	Sede 9	Sede 10	Sede 12	
Sede 3	0	508	227	509	243	603	400	0
Sede 4	531	0	503	3	402	89	471	1
Sede 2-5	227	505	0	506	440	600	174	2
Sede 8	533	5	504	0	404	88	472	3
Sede 9	245	411	441	413	0	506	580	4
Sede 10	630	91	601	88	501	0	569	5
Sede 12	417	473	200	474	579	568	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 9 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 6 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 2-5	Sede 6	Sede 8	Sede 11	Sede 12	
Sede 1	0	502	428	4	542	471	0
Sede 2-5	504	0	375	506	48	174	1
Sede 6	391	377	0	393	377	519	2
Sede 8	3	504	429	0	543	472	3
Sede 11	543	47	377	545	0	215	4
Sede 12	472	200	519	474	252	0	5
	0	1	2	3	4	5	Posição na Matriz

Fonte: Aatoria Própria (2021).

Tabela 10 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 7 para a estrutura 3.

Sede	Sede 4	Sede 2-5	Sede 6	Sede 7	Sede 8	Sede 12	
Sede 4	0	503	428	114	3	471	0
Sede 2-5	505	0	375	412	506	174	1
Sede 6	392	377	0	278	393	519	2
Sede 7	116	429	319	0	117	398	3
Sede 8	5	504	429	115	0	472	4
Sede 12	473	200	519	380	474	0	5
	0	1	2	3	4	5	Posição na Matriz

Fonte: Aatoria Própria (2021).

Tabela 11 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 8 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 2-5	Sede 8	Sede 9	Sede 10	Sede 11	
Sede 1	0	502	4	402	90	542	0
Sede 2-5	504	0	506	440	600	48	1
Sede 8	3	504	0	404	88	543	2
Sede 9	409	441	413	0	506	442	3
Sede 10	91	601	88	501	0	640	4
Sede 11	543	47	545	442	639	0	5
	0	1	2	3	4	5	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 12 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 9 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 3	Sede 6	Sede 7	Sede 9	Sede 10	Sede 12	
Sede 1	0	520	428	113	402	90	471	0
Sede 3	506	0	178	394	243	603	400	1
Sede 6	391	181	0	278	67	487	519	2
Sede 7	115	458	319	0	293	211	398	3
Sede 9	409	245	67	295	0	506	580	4
Sede 10	91	630	526	212	501	0	569	5
Sede 12	472	417	519	380	579	568	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 13 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 10 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 3	Sede 4	Sede 6	Sede 7	Sede 10	Sede 11	
Sede 1	0	520	6	428	113	90	542	0
Sede 3	506	0	508	178	394	603	215	1
Sede 4	5	531	0	428	114	89	542	2
Sede 6	391	181	392	0	278	487	377	3
Sede 7	115	458	116	319	0	211	469	4
Sede 10	91	630	91	526	212	0	640	5
Sede 11	543	215	544	377	451	639	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 14 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 11 para a estrutura 3.

Sede	Sede 1	Sede 2-5	Sede 2-5	Sede 7	Sede 9	Sede 11	
Sede 1	0	502	502	113	402	542	0
Sede 2-5	504	0	0	412	440	48	1
Sede 2-5	504	0	0	412	440	48	2
Sede 7	115	429	429	0	293	469	3
Sede 9	409	441	441	295	0	442	4
Sede 11	543	47	47	451	442	0	5
	0	1	2	3	4	5	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 15 – Matriz de distâncias do grafo Equipe 12 para a estrutura 3.

Sede	Sede 2-5	Sede 3	Sede 4	Sede 8	Sede 10	Sede 11	Sede 12	
Sede 2-5	0	227	505	506	600	48	174	0
Sede 3	227	0	508	509	603	215	400	1
Sede 4	503	531	0	3	89	542	471	2
Sede 8	504	533	5	0	88	543	472	3
Sede 10	601	630	91	88	0	640	569	4
Sede 11	47	215	544	545	639	0	215	5
Sede 12	200	417	473	474	568	252	0	6
	0	1	2	3	4	5	6	Posição na Matriz

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os jogos, diferentemente das estruturas de competição 1 e 2, não foram organizados por rodadas, e sim pela combinação de jogos entre equipe mandante e visitante, não sendo obrigatório o jogo acontecer em datas fixas e sim, apenas as sequencias obtidas como resultados do algoritmo devem ser respeitadas e seguidas por cada equipe. O Quadro 6, mostra os confrontos organizados em ordem numérica para cada equipe, não sendo essa a ordem para a rota, essa forma mostra apenas que através da mesma tabela é possível organizar os confrontos com o uso do algoritmo.

Quadro 6 – Combinação das equipes como visitantes em ordem numérica.

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 4	Equipe 1
Equipe 3	Equipe 1
Equipe 7	Equipe 1
Equipe 5	Equipe 1
Equipe 12	Equipe 1
Equipe 1	Equipe 2
Equipe 5	Equipe 2

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 9	Equipe 2
Equipe 6	Equipe 2
Equipe 7	Equipe 2
Equipe 10	Equipe 2
Equipe 11	Equipe 3
Equipe 6	Equipe 3
Equipe 7	Equipe 3
Equipe 8	Equipe 3
Equipe 4	Equipe 3
Equipe 2	Equipe 3
Equipe 8	Equipe 4
Equipe 6	Equipe 4
Equipe 2	Equipe 4
Equipe 11	Equipe 4
Equipe 9	Equipe 4
Equipe 4	Equipe 5
Equipe 8	Equipe 5
Equipe 9	Equipe 5
Equipe 10	Equipe 5
Equipe 3	Equipe 5
Equipe 12	Equipe 5
Equipe 1	Equipe 6
Equipe 11	Equipe 6
Equipe 12	Equipe 6
Equipe 8	Equipe 6
Equipe 5	Equipe 6
Equipe 5	Equipe 7
Equipe 4	Equipe 7
Equipe 8	Equipe 7
Equipe 12	Equipe 7
Equipe 6	Equipe 7
Equipe 10	Equipe 8
Equipe 2	Equipe 8
Equipe 1	Equipe 8
Equipe 9	Equipe 8
Equipe 11	Equipe 8

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 6	Equipe 9
Equipe 1	Equipe 9
Equipe 12	Equipe 9
Equipe 7	Equipe 9
Equipe 3	Equipe 9
Equipe 10	Equipe 9
Equipe 4	Equipe 10
Equipe 7	Equipe 10
Equipe 11	Equipe 10
Equipe 6	Equipe 10
Equipe 1	Equipe 10
Equipe 3	Equipe 10
Equipe 9	Equipe 11
Equipe 2	Equipe 11
Equipe 1	Equipe 11
Equipe 5	Equipe 11
Equipe 7	Equipe 11
Equipe 11	Equipe 12
Equipe 3	Equipe 12
Equipe 10	Equipe 12
Equipe 4	Equipe 12
Equipe 2	Equipe 12
Equipe 8	Equipe 12

Fonte: Autoria Própria (2021).

A Tabela 16, mostra a quantidade de jogos de cada equipe como mandante e visitante nessa estrutura de competição.

Tabela 16 – Mandos de campo da estrutura de competição 3.

Equipes:	Jogos Visitante	Jogos Mandante
Equipe 1	5	6
Equipe 2	6	5
Equipe 3	6	5
Equipe 4	5	6
Equipe 5	6	5
Equipe 6	5	6

Equipes:	Jogos Visitante	Jogos Mandante
Equipe 7	5	6
Equipe 8	5	6
Equipe 9	6	5
Equipe 10	6	5
Equipe 11	5	6
Equipe 12	6	5

Fonte: Autoria Própria (2021).

Nesse exemplo, as equipes seguem organizadas em ordem numérica crescente, a qual pode ser utilizada para o início da sequência dos jogos ou outra forma de iniciar a sequência também pode ser definida previamente. Assim como dito anteriormente, as equipes que no ano anterior da competição foram os 6 melhores colocados, tem a prioridade de poder realizar um jogo a mais como mandante. Como nessa estrutura de competição não houve alterações em número de jogos ou combinações, a Equipe 1, Equipe 4, Equipe 6, Equipe 7, Equipe 8 e Equipe 11, permanecem com a prioridade de um jogo a mais como mandantes e conseqüentemente, a Equipe 2, Equipe 3, Equipe 5, Equipe 9, Equipe 10 e Equipe 12, realizam um jogo a mais como visitantes, assim como nas estruturas de competição 1 e 2. Uma possibilidade factível de execução das sequencias de todas as equipes é de que uma equipe inicie sua sequência de jogos como visitante e nenhuma outra equipe realize jogos como visitante ao mesmo tempo. Assim, quando uma equipe finalizar a sequência como visitante, outra equipe pode iniciar. Dessa forma, cada equipe ao realizar sua sequência por vez, torna o método factível e os jogos de todas as equipes são realizados, tanto como visitantes, quanto como mandantes nessa estrutura de competição.

No Quadro 7 mostra um exemplo de organização da sequência de jogos para a estrutura de competição 3. As equipes que tem a prioridade de realizar 5 jogos apenas como visitantes foram destacados com um * ao lado, como por exemplo Equipe 1*. A sequência mostra o exemplo para cada equipe, iniciando pela equipe 1, na qual começa enfrentando a Equipe 4, em seguida a Equipe 12, Equipe 5, Equipe 3 e Equipe 7. Da mesma forma que essa sequência de jogos como equipe visitante é realizada, esses jogos são válidos para as mesmas equipes que a Equipe 1 enfrentou como jogos mandantes. Assim, conforme apresentado no Quadro 7, essas

equipes enfrentadas pela Equipe 1 na sequência de 1 a 5, em destaque na cor cinza, da esquerda para a direita, consta como E1 também na coluna 1 de cada equipe como o primeiro jogo. Sucessivamente, a Equipe 2 inicia sua sequência de jogos como visitante contra a Equipe 10, Equipe 1, Equipe 7, Equipe 9, Equipe 6 e Equipe 5. Dessa forma todas as equipes realizam as sequências até ocorrer a finalização de todas as sequências de jogos como mandantes e visitantes.

Quadro 7 – Exemplo de organização da sequência de jogos para estrutura 3.

Equipes:	Sequência de Jogos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Equipe 1*	E4	E12	E5	E3	E7	E2	E6	E8	E9	E10	E11
Equipe 2	E10	E1	E7	E9	E6	E5	E3	E4	E8	E11	E12
Equipe 3	E1	E11	E6	E7	E4	E8	E2	E5	E9	E10	E12
Equipe 4*	E1	E3	E8	E9	E6	E11	E2	E5	E7	E10	E12
Equipe 5	E1	E2	E12	E4	E10	E8	E9	E3	E6	E7	E11
Equipe 6*	E2	E3	E4	E1	E8	E12	E5	E11	E7	E9	E10
Equipe 7*	E1	E2	E3	E4	E8	E12	E5	E6	E9	E10	E11
Equipe 8*	E3	E4	E5	E6	E7	E9	E11	E2	E1	E10	E12
Equipe 9	E2	E4	E5	E8	E6	E3	E12	E10	E1	E7	E11
Equipe 10	E2	E5	E8	E9	E1	E11	E3	E6	E7	E4	E12
Equipe 11*	E3	E4	E6	E8	E10	E5	E2	E1	E7	E9	E12
Equipe 12	E1	E5	E6	E7	E9	E4	E10	E8	E3	E11	E2

Fonte: Autoria Própria (2021).

É importante ressaltar que não há separação por rodadas nessa estrutura, dessa forma, as equipes devem seguir a sequência definida pelos métodos e apenas concluir o número de jogos proposto.

4.7 ESTRUTURA DE COMPETIÇÃO 4

Essa estrutura de competição segue o mesmo modo de resolução da estrutura de competição 3, onde são encontrados os caminhos equipe a equipe, mas, nesse modo de resolução, o grafo da matriz de distâncias da Tabela 1 não será alterado. Com isso, cada equipe terá um caminho para enfrentar os 11 adversários por vez e retornar à posição inicial. Com essa combinação, o total de jogos será dobrado, de 11, para 22 jogos por equipe, ou seja, o sistema de jogos, após a minimização do algoritmo resultará em 132 combinações, sendo 11 jogos como mandante e 11 jogos como visitante. Essa estrutura de competição fica relacionada a competições de jogos como turno e retorno ou também chamados de jogos em turno e retorno.

Para obter as soluções nessa estrutura, os métodos heurísticos os vértices iniciais e finais são alterados para cada equipe. Nessa combinação, os somatórios das distâncias obtidas como resultados são dos jogos visitantes de cada equipe, pois nos jogos como mandantes, as distâncias são consideradas nulas. Com isso a equipe não tem deslocamento. Todos os jogos em que a equipe visita os adversários devem ser realizados de forma sequencial.

Assim como na estrutura de competição 3, para a aplicação dos métodos heurísticos existem diversas formas de organizações possíveis sem que ocorram alterações as sequências obtidas com os métodos. Novamente, não há separação por rodadas nessa estrutura, dessa forma, as equipes devem seguir a sequência definida pelos métodos e apenas concluir o número de jogos proposto. As equipes seguem organizadas em ordem numérica crescente, a qual pode ser utilizada para o início da sequência dos jogos. O Tabela 17, mostra a quantidade de jogos de cada equipe como mandante e visitante nessa estrutura de competição.

Tabela 17 – Mandos de campo da estrutura de competição 4.

Equipes:	Jogos Visitante	Jogos Mandante
Equipe 1	11	11
Equipe 2	11	11
Equipe 3	11	11
Equipe 4	11	11
Equipe 5	11	11

Equipes:	Jogos Visitante	Jogos Mandante
Equipe 6	11	11
Equipe 7	11	11
Equipe 8	11	11
Equipe 9	11	11
Equipe 10	11	11
Equipe 11	11	11
Equipe 12	11	11

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para exemplificar o método, a Equipe 1, nessa estrutura, iniciando a sequência de jogos como visitante, pode enfrentar todos os adversários definidos pela ordem resultante dos métodos, assim realizando 11 jogos seguidos. Desse modo, todas as equipes, com exceção da Equipe 1, realizam o primeiro jogo como mandantes contra a Equipe 1, na sequência obtida pelo método heurístico escolhido. Para a continuidade da competição, cada equipe por vez, após a equipe que iniciou a sequência, realiza o mesmo procedimento, realizando 11 jogos seguidos como visitante sem que outra equipe realize jogos como visitante simultaneamente. Assim, após todas as sequências realizadas, todas as 12 equipes realizam 22 jogos com mandos de campos de forma igualitária, sendo 50% como mandantes e 50% como visitantes conforme mostra o Quadro 8 com o exemplo de jogos da estrutura de competição 4, no qual, a Equipe 1 inicia e a Equipe 12 finaliza sequência de jogos.

Quadro 8 – Exemplo de combinação de jogos da estrutura de competição 4.

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 2	Equipe 1
Equipe 3	Equipe 1
Equipe 4	Equipe 1
Equipe 5	Equipe 1
Equipe 6	Equipe 1
Equipe 7	Equipe 1
Equipe 8	Equipe 1
Equipe 9	Equipe 1
Equipe 10	Equipe 1
Equipe 11	Equipe 1

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 12	Equipe 1
Equipe 1	Equipe 2
Equipe 3	Equipe 2
Equipe 4	Equipe 2
Equipe 5	Equipe 2
Equipe 6	Equipe 2
Equipe 7	Equipe 2
Equipe 8	Equipe 2
Equipe 9	Equipe 2
Equipe 10	Equipe 2
Equipe 11	Equipe 2
Equipe 12	Equipe 2
Equipe 1	Equipe 3
Equipe 2	Equipe 3
Equipe 4	Equipe 3
Equipe 5	Equipe 3
Equipe 6	Equipe 3
Equipe 7	Equipe 3
Equipe 8	Equipe 3
Equipe 9	Equipe 3
Equipe 10	Equipe 3
Equipe 11	Equipe 3
Equipe 12	Equipe 3
Equipe 1	Equipe 4
Equipe 2	Equipe 4
Equipe 3	Equipe 4
Equipe 5	Equipe 4
Equipe 6	Equipe 4
Equipe 7	Equipe 4
Equipe 8	Equipe 4
Equipe 9	Equipe 4
Equipe 10	Equipe 4
Equipe 11	Equipe 4
Equipe 12	Equipe 4
Equipe 1	Equipe 5
Equipe 2	Equipe 5

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 3	Equipe 5
Equipe 4	Equipe 5
Equipe 6	Equipe 5
Equipe 7	Equipe 5
Equipe 8	Equipe 5
Equipe 9	Equipe 5
Equipe 10	Equipe 5
Equipe 11	Equipe 5
Equipe 12	Equipe 5
Equipe 1	Equipe 6
Equipe 2	Equipe 6
Equipe 3	Equipe 6
Equipe 4	Equipe 6
Equipe 5	Equipe 6
Equipe 7	Equipe 6
Equipe 8	Equipe 6
Equipe 9	Equipe 6
Equipe 10	Equipe 6
Equipe 11	Equipe 6
Equipe 12	Equipe 6
Equipe 1	Equipe 7
Equipe 2	Equipe 7
Equipe 3	Equipe 7
Equipe 4	Equipe 7
Equipe 5	Equipe 7
Equipe 6	Equipe 7
Equipe 8	Equipe 7
Equipe 9	Equipe 7
Equipe 10	Equipe 7
Equipe 11	Equipe 7
Equipe 12	Equipe 7
Equipe 1	Equipe 8
Equipe 2	Equipe 8
Equipe 3	Equipe 8
Equipe 4	Equipe 8
Equipe 5	Equipe 8

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 6	Equipe 8
Equipe 7	Equipe 8
Equipe 9	Equipe 8
Equipe 10	Equipe 8
Equipe 11	Equipe 8
Equipe 12	Equipe 8
Equipe 1	Equipe 9
Equipe 2	Equipe 9
Equipe 3	Equipe 9
Equipe 4	Equipe 9
Equipe 5	Equipe 9
Equipe 6	Equipe 9
Equipe 7	Equipe 9
Equipe 8	Equipe 9
Equipe 10	Equipe 9
Equipe 11	Equipe 9
Equipe 12	Equipe 9
Equipe 1	Equipe 10
Equipe 2	Equipe 10
Equipe 3	Equipe 10
Equipe 4	Equipe 10
Equipe 5	Equipe 10
Equipe 6	Equipe 10
Equipe 7	Equipe 10
Equipe 8	Equipe 10
Equipe 9	Equipe 10
Equipe 11	Equipe 10
Equipe 12	Equipe 10
Equipe 1	Equipe 11
Equipe 2	Equipe 11
Equipe 3	Equipe 11
Equipe 4	Equipe 11
Equipe 5	Equipe 11
Equipe 6	Equipe 11
Equipe 7	Equipe 11
Equipe 8	Equipe 11

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 9	Equipe 11
Equipe 10	Equipe 11
Equipe 12	Equipe 11
Equipe 1	Equipe 12
Equipe 2	Equipe 12
Equipe 3	Equipe 12
Equipe 4	Equipe 12
Equipe 5	Equipe 12
Equipe 6	Equipe 12
Equipe 7	Equipe 12
Equipe 8	Equipe 12
Equipe 9	Equipe 12
Equipe 10	Equipe 12
Equipe 11	Equipe 12

Fonte: Autoria Própria (2021).

É importante ressaltar que o método heurístico escolhido, muda a somente as posições de cada equipe que será visitada somente. A mudança da ordem da equipe que iniciará a sequência, fica com critério livre de escolha. Porém, nessa sequência de jogos apresentada no Quadro 9, sua execução é factível com qualquer um dos 3 métodos heurísticos neste trabalho, na qual cada equipe inicia sua sequência de jogos como visitante de acordo com a posição em destaque na cor cinza.

Quadro 9 – Exemplo de organização da sequência de jogos para estrutura 4.

Equipes:	Sequência de Jogos																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E2	E1	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E3	E1	E2	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E4	E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E5	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E6	E1	E2	E3	E4	E5	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E7	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E8	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E8	E9	E10	E11	E12
E8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E9	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E9	E10	E11	E12
E9	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E10	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E10	E11	E12
E10	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E11	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E11	E12
E11	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E12
E12	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.8 RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Para obter os resultados com o uso do algoritmo através de métodos heurísticos e computacionais, foi utilizado um computador com as seguintes características:

- Processador Intel(R) Core (TM) i3-2370M de 2,40GHz;
- Memória RAM 6,00 GB;
- HD SSD 120 GB;
- Sistema Operacional Windows 10 Pro de 64 bits, processador baseado em x64.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada uma das estruturas de competição e para cada um dos métodos utilizados, sendo possível visualizar as diferenças na organização da tabela da competição.

Para a estrutura de competição 1, conforme mostra o grafo da Figura 6, a Equipe 7 realizou 5 jogos como visitante e 6 jogos como mandante, destaca-se que, após o jogo contra o adversário 8, o deslocamento foi diretamente para o adversário 12, sem o retorno para própria sede. Essa é a flexibilidade desse formato, pois com isso, podem ser evitados deslocamentos menores pelas equipes quando possível.

Realizando o procedimento adotado na Figura 5 para todas as equipes, foram obtidas as distâncias totais em quilômetros de cada equipe, e sequenciadas em ordem crescente conforme a Tabela 18:

Tabela 18 – Deslocamento total na estrutura de competição 1.

Equipes:	Distância (km):
Equipe 7	2637
Equipe 12	3175
Equipe 1	3214
Equipe 4	3233
Equipe 11	3436
Equipe 6	3620
Equipe 8	3623
Equipe 3	3683
Equipe 10	3771
Equipe 9	4288
Equipe 5	4353
Equipe 2	4681
Média	3642,8
TOTAL	43714

Fonte: Autoria Própria (2021).

A diferença da primeira à última Equipe em deslocamento ultrapassou os 2 mil quilômetros, podendo dessa forma ocorrer o favorecimento a determinadas equipes, por viajarem menos, assim como, as 6 melhores equipes do ano anterior que por determinação da competição realizam 6 partidas em casa, uma a mais que

o restante, ficaram nessa estrutura, entre as 7 primeiras com menores deslocamentos, Destaque para a Equipe 12, em segundo nessa tabela, a qual não estava entre as 6 que menos realizaram partidas como visitantes.

Para a estrutura de competição 2, a Equipe 1, no exemplo, conforme a Figura 7, não realizou viagens entre sedes de adversários. Em todas rodadas como visitante, houve o retorno da Equipe para a própria sede. Feita a comparação desse caso, com o modelo 1, constatou-se que nas duas estruturas esportivas, houve o deslocamento idêntico da equipe nas 11 rodadas, ocasionando o mesmo resultado no somatório das distâncias. Isso ocorreu pelo fato da combinação de jogos e da organização da tabela, e não se aplica a todas as equipes dessa estrutura, mas também não impede que a combinação se repita com os outras da mesma forma.

No somatório individual e total apresentado na Tabela 19, novamente as 6 equipes que menos realizaram jogos como visitantes ficaram entre as 7 com menores distâncias, porém, nesse modelo, a Equipe 3, mesmo realizando um jogo a mais como visitante, ficou à frente da Equipe 6, que estava com a prioridade de realizar apenas 5 jogos como visitante.

Tabela 19 – Deslocamento total na estrutura de competição 2.

Equipes:	Distância (km):
Equipe 7	2678
Equipe 11	3079
Equipe 8	3098
Equipe 1	3214
Equipe 4	3735
Equipe 3	4176
Equipe 6	4185
Equipe 9	4187
Equipe 10	4309
Equipe 2	4681
Equipe 12	4685
Equipe 5	4928
Média	3912,9
TOTAL	46955

Fonte: Autoria Própria (2021).

Em comparação a primeira estrutura, a diferença entre a primeira e a última equipe aumentou, assim como o somatório total também aumentou, influenciando dessa forma a ordem de posição de algumas equipes. Porém, a Equipe 7 ainda continuou sendo a equipe com menor distância total.

Com os dados da estrutura 3, após a execução do algoritmo para as 12 equipes, os resultados obtidos seguem por ordem numérica crescente e separados por equipe, com o somatório das distâncias entre os todas as equipes e por cada método heurístico utilizado na resolução, seguem na Tabela 20:

Tabela 20 – Resultados dos métodos heurísticos utilizados na estrutura 3.

Equipes:	Solução Inicial (km).	Solução do Melhor Vizinho (km).	Solução Vizinho por Seleção Aleatória (km).
Equipe 1	2006	1451	1413
Equipe 2	2555	2106	1541
Equipe 3	1983	1757	1342
Equipe 4	2491	1935	1403
Equipe 5	3191	2515	1700
Equipe 6	2477	1680	1492
Equipe 7	2239	1670	1444
Equipe 8	2593	2106	1575
Equipe 9	2744	2465	1713
Equipe 10	2933	2180	1509
Equipe 11	2192	1950	1399
Equipe 12	1881	1631	1619
Amplitude	1310	1064	371
Amplitude Média	2536	1983	1527,5
Média	2440,4	1953,8	1512,5
TOTAL	29285	23446	18150

Fonte: Autoria Própria (2021).

Verifica-se que o algoritmo encontrou distâncias menores para todas as equipes nos 3 métodos heurísticos utilizados, se comparados com as estruturas 1 e 2. Porém, é importante ressaltar que a tabela inicial dos jogos apresentada no Quadro 2 não foi elaborada com o foco na minimização das distâncias entre cada

jogo. Sendo assim, o foco comparativo desse trabalho foi direcionado para melhorias através dos resultados obtidos pelos métodos heurísticos utilizados.

O método heurístico de Solução Vizinho por Seleção Aleatória proporcionou os melhores resultados, mas como os caminhos são gerados aleatoriamente, o número de vezes que os caminhos são procurados é o mais importante na realização das buscas. Assim, a cada busca as chances de melhores resultados serem encontrados aumentam ou até mesmo o ponto ótimo global pode ser alcançado. A escolha do número de verificações fica a critério do utilizador ou programador para cada projeto de aplicação do algoritmo, nesse trabalho, como já dito, o número escolhido foi o de 100 milhões. Percebe-se que a amplitude das distâncias entre as equipes do primeiro ao terceiro método foi reduzindo de 1310 até 371 quilômetros, assim como também houve redução na amplitude média de 2536 até 1527,5 quilômetros. Esses valores de redução proporcionam as equipes uma menor diferença das distâncias de deslocamento para que assim a competição seja mais justa aos participantes, mais seguras aos atletas ficando menos expostos ao tempo de longas viagens, redução de desgaste e menor custo.

A Tabela 21 mostra a comparação da variação percentual realizada entre os métodos heurísticos, sendo o método heurístico Solução Inicial considerado como referência e os outros 2 métodos como comparativos em relação ao mesmo.

Tabela 21 – Variação percentual entre equipes na estrutura de competição 3.

Equipes:	Variação Percentual da Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial (%)	Variação Percentual da Solução Vizinho por Seleção Aleatória em relação a Solução Inicial (%)
Equipe 1	27,67	29,56
Equipe 2	17,57	39,69
Equipe 3	11,40	32,32
Equipe 4	22,32	43,68
Equipe 5	21,18	46,73
Equipe 6	32,18	39,77
Equipe 7	25,41	35,51
Equipe 8	18,78	39,26
Equipe 9	10,17	37,57
Equipe 10	25,67	48,55
Equipe 11	11,04	36,18
Equipe 12	13,29	13,93

Equipes:	Varição Percentual da Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial (%)	Varição Percentual da Solução Vizinho por Seleção Aleatória em relação a Solução Inicial (%)
Varição Percentual da Média	19,94	38,02

Fonte: Autoria Própria (2021).

Dentre todos os participantes, na estrutura de competição 3, a Equipe 6 ficou com a maior variação percentual com 32,18% e a Equipe 9 com 10,17% com a menor variação entre os métodos heurísticos Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial. Já para a variação percentual da Solução Vizinho por Seleção Aleatória em relação a Solução Inicial a Equipe 10 teve a maior variação em 48,55% e a Equipe 12 a menor com 13,93%. Conforme a Tabela 18, para todas as equipes a cada método aplicado, houve redução nas distâncias a serem percorridas, ou seja, nesse caso quanto maior a variação percentual, maior a eficácia do método aplicado para aquela equipe quando comparada ao primeiro método. Na comparação da variação percentual média, o método Solução Vizinho por Seleção Aleatória obteve melhor resultado que o método Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial, sendo 38,02% contra 19,94% respectivamente.

Com os melhores resultados nos métodos heurísticos utilizados, os caminhos de cada equipe foram salvos e são apresentados no Quadro 10 por ordem numérica crescente das equipes e com os números de posição de acordo com as posições de cada matriz específica da estrutura 3.

Quadro 10 – Caminhos obtidos como resultados da estrutura de competição 3.

Equipes:	Caminho Solução Inicial	Caminho Solução do Melhor Vizinho	Caminho Solução Vizinho por Seleção Aleatória
Equipe 1	0→2→1→4→3→5→0	0→2→4→1→3→5→0	0→2→5→3→1→4→0
Equipe 2	1→0→2→3→5→4→6→1	1→2→0→3→5→4→6→1	1→6→0→4→5→3→2→1
Equipe 3	1→0→3→2→4→5→6→1	1→0→3→4→2→5→6→1	1→3→4→2→5→0→6→1
Equipe 4	1→0→3→2→4→5→1	1→3→0→2→4→5→1	1→3→4→2→5→0→1
Equipe 5	2→0→1→6→3→4→5→2	2→0→4→1→6→3→5→2	2→6→1→5→3→4→0→2
Equipe 6	2→0→1→4→3→5→2	2→3→0→1→4→5→2	2→0→3→5→1→4→2
Equipe 7	3→0→1→2→4→5→3	3→0→5→1→2→4→3	3→0→4→5→1→2→3

Equipes:	Caminho Solução Inicial	Caminho Solução do Melhor Vizinho	Caminho Solução Vizinho por Seleção Aleatória
Equipe 8	2→0→1→4→3→5→2	2→0→5→1→4→3→2	2→3→5→1→0→4→2
Equipe 9	4→0→1→2→3→5→6→4	4→0→6→1→2→3→5→4	4→2→1→6→5→0→3→4
Equipe 10	5→0→1→2→3→4→6→5	5→2→0→1→3→4→6→5	5→0→6→1→3→4→2→5
Equipe 11	5→0→1→2→3→4→5	5→3→0→1→2→4→5	5→2→1→0→3→4→5
Equipe 12	6→0→1→2→3→4→5→6	6→0→5→1→2→3→4→6	6→2→4→3→1→5→0→6

Fonte: Autoria Própria (2021).

Já após a execução dos 3 métodos, e aplicando os caminhos encontrados da Solução por Seleção Aleatória, por exemplo, a tabela dos jogos para todas as equipes ficou conforme a ordem apresentada no Quadro 11:

Quadro 11 – Tabela de jogos Solução por Seleção Aleatória da estrutura de competição 3.

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 4	Equipe 1
Equipe 12	Equipe 1
Equipe 5	Equipe 1
Equipe 3	Equipe 1
Equipe 7	Equipe 1
Equipe 10	Equipe 2
Equipe 1	Equipe 2
Equipe 7	Equipe 2
Equipe 9	Equipe 2
Equipe 6	Equipe 2
Equipe 5	Equipe 2
Equipe 11	Equipe 3
Equipe 6	Equipe 3
Equipe 7	Equipe 3
Equipe 4	Equipe 3
Equipe 8	Equipe 3
Equipe 2	Equipe 3
Equipe 8	Equipe 4
Equipe 9	Equipe 4
Equipe 6	Equipe 4
Equipe 11	Equipe 4

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 2	Equipe 4
Equipe 12	Equipe 5
Equipe 4	Equipe 5
Equipe 10	Equipe 5
Equipe 8	Equipe 5
Equipe 9	Equipe 5
Equipe 3	Equipe 5
Equipe 1	Equipe 6
Equipe 8	Equipe 6
Equipe 12	Equipe 6
Equipe 5	Equipe 6
Equipe 11	Equipe 6
Equipe 4	Equipe 7
Equipe 8	Equipe 7
Equipe 12	Equipe 7
Equipe 5	Equipe 7
Equipe 6	Equipe 7
Equipe 9	Equipe 8
Equipe 11	Equipe 8
Equipe 2	Equipe 8
Equipe 1	Equipe 8
Equipe 10	Equipe 8
Equipe 6	Equipe 9
Equipe 3	Equipe 9
Equipe 12	Equipe 9
Equipe 10	Equipe 9
Equipe 1	Equipe 9
Equipe 7	Equipe 9
Equipe 1	Equipe 10
Equipe 11	Equipe 10
Equipe 3	Equipe 10
Equipe 6	Equipe 10
Equipe 7	Equipe 10
Equipe 4	Equipe 10
Equipe 5	Equipe 11
Equipe 2	Equipe 11

Combinação de Jogos	
Mandante	Visitante
Equipe 1	Equipe 11
Equipe 7	Equipe 11
Equipe 9	Equipe 11
Equipe 4	Equipe 12
Equipe 10	Equipe 12
Equipe 8	Equipe 12
Equipe 3	Equipe 12
Equipe 11	Equipe 12
Equipe 2	Equipe 12

Fonte: Autoria Própria (2021).

No formato adotado na estrutura de competição 4, o número de jogos é superior às outras estruturas apresentadas anteriormente, no caso, o dobro de jogos é realizado, por serem realizadas partidas em 2 turnos. Os resultados obtidos através dos métodos heurísticos seguem na Tabela 22:

Tabela 22 – Resultados dos métodos heurísticos utilizados na estrutura 4.

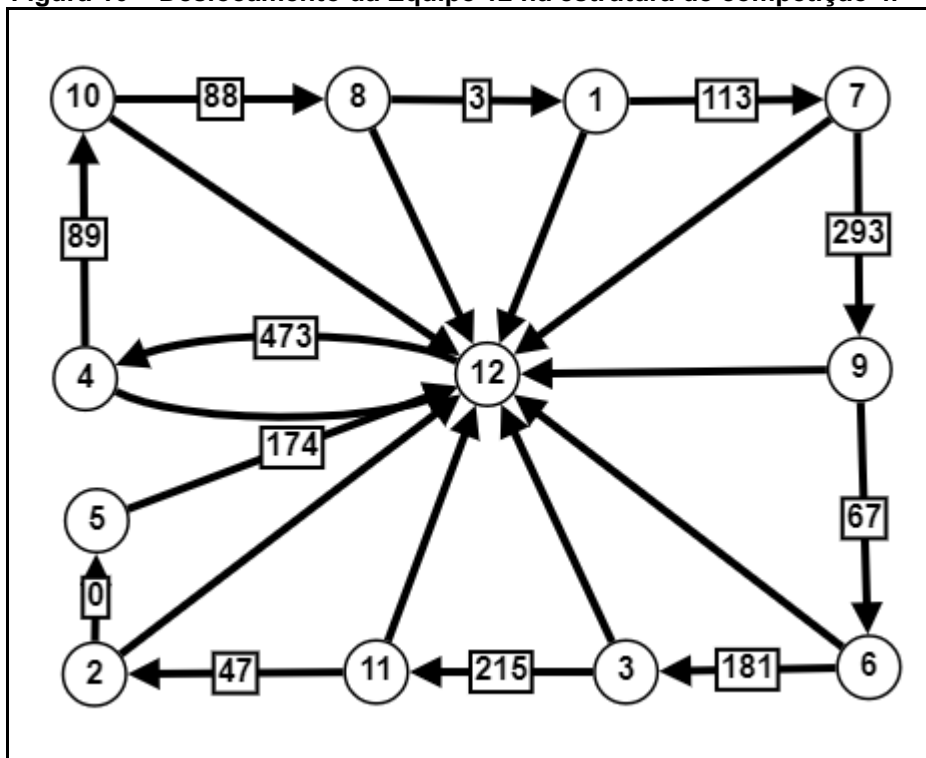
Equipes:	Solução Inicial (km).	Solução do Melhor Vizinho (km).	Solução Vizinho por Seleção Aleatória (km).
Equipe 1	4486	3706	1743
Equipe 2	4734	3905	1743
Equipe 3	5298	4254	1745
Equipe 4	4488	3703	1743
Equipe 5	4734	3905	1747
Equipe 6	5253	4195	1747
Equipe 7	4495	3717	1746
Equipe 8	4485	3708	1743
Equipe 9	5249	4191	1748
Equipe 10	4476	3697	1743
Equipe 11	4784	4006	1743
Equipe 12	4747	3969	1743
Amplitude	822	557	5
Amplitude Média	4887	3975,5	1745,5
Média	4769,1	3913,0	1744,5

Equipes:	Solução Inicial (km).	Solução do Melhor Vizinho (km).	Solução Vizinho por Seleção Aleatória (km).
TOTAL	57229	46956	20934

Fonte: Autoria Própria (2021).

Com a aplicação dos métodos nessa estrutura de competição, novamente as amplitudes médias foram reduzidas começando em 4887 quilômetros e finalizada com 1745,5 quilômetros no método Solução Vizinho por Seleção Aleatória. A amplitude ficou quase nula, ficando em 5 quilômetros apenas. A Equipe 12 nesse formato de estrutura foi, a equipe com o menor caminho encontrado na Solução Vizinho por Seleção Aleatória. Para ilustrar, o caminho encontrado no grafo, segue de acordo com a Figura 10:

Figura 10 – Deslocamento da Equipe 12 na estrutura de competição 4.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Nesse exemplo, a Equipe 12 sendo representada pelo número 12, ao centro da figura, realiza seu primeiro jogo com a Equipe 5, depois com a número 7 e assim sucessivamente até jogar com a Equipe 11 e retornar para a sede. Com isso, realiza seu primeiro turno de jogos, restando somente os jogos como mandante, que

também podem ser realizados antes dos jogos como visitantes. Nessa estrutura, mesmo que com um turno a mais, as distâncias obtidas como resultados, são aproximadas das distâncias de jogos em apenas um turno. Isso mostra que com a minimização das rotas, é possível até mesmo alterar o modelo de disputa da competição e equilibrar as distâncias e o número de jogos entre as equipes e igualar o número de partidas como mandantes e visitantes.

A Tabela 23 mostra a comparação da variação percentual realizada entre os métodos heurísticos, sendo o método heurístico Solução Inicial considerado como referência e os outros 2 métodos como comparativos em relação ao mesmo.

Tabela 23 – Variação percentual entre equipes na estrutura de competição 4.

Equipes:	Variação Percentual da Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial (%)	Variação Percentual da Solução Vizinho por Seleção Aleatória em relação a Solução Inicial (%)
Equipe 1	17,39	61,15
Equipe 2	17,51	63,18
Equipe 3	19,71	67,06
Equipe 4	17,49	61,16
Equipe 5	17,51	63,10
Equipe 6	20,14	66,74
Equipe 7	17,31	61,16
Equipe 8	17,32	61,14
Equipe 9	20,16	66,70
Equipe 10	17,40	61,06
Equipe 11	16,26	63,57
Equipe 12	16,39	63,28
Variação Percentual da Média	17,95	63,42

Fonte: Autoria Própria (2021).

Assim como na comparação anterior, foram realizadas as mesmas comparações entre os métodos na estrutura de competição 4. De acordo com a Tabela 21, a Equipe 9 ficou com a maior variação percentual com 20,16% e a Equipe 11 com 16,26% com a menor variação entre os métodos heurísticos Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial. Para a variação percentual da Solução Vizinho por Seleção Aleatória em relação a Solução Inicial a Equipe 3 teve

a maior variação em 67,06% e a Equipe 10 a menor com 61,06%. Conforme a Tabela 22, assim como na estrutura anterior, houve redução nas distâncias para todas as equipes a cada método aplicado, assim, nessas comparações, quanto maior a variação percentual, maior a eficácia do método aplicado para aquela equipe quando comparado ao primeiro método. Na comparação da variação percentual média, o método Solução Vizinho por Seleção Aleatória obteve melhor resultado que o método Solução do Melhor Vizinho em relação a Solução Inicial, sendo 63,42% contra 17,95% respectivamente.

Com os melhores resultados nos métodos heurísticos utilizados, os caminhos de cada equipe foram salvos e são apresentados no Quadro 12 por ordem numérica crescente das equipes e com os números de posição de acordo com as posições da matriz específica da estrutura 4.

Quadro 12 – Caminhos obtidos como resultados da estrutura de competição 4.

Equipes:	Caminho Solução Inicial
Equipe 1	1→8→2→3→4→5→6→7→10→9→12→11→1
Equipe 2	2→1→5→3→4→11→6→7→8→9→10→12→2
Equipe 3	3→1→2→6→4→5→9→7→8→11→10→12→3
Equipe 4	4→1→2→3→8→5→6→7→10→9→12→11→4
Equipe 5	5→1→2→3→4→11→6→7→8→9→10→12→5
Equipe 6	6→1→2→3→4→5→9→7→8→11→10→12→6
Equipe 7	7→1→2→3→4→5→6→8→10→9→12→11→7
Equipe 8	8→1→2→3→4→5→6→7→10→9→12→11→8
Equipe 9	9→1→2→3→4→5→6→7→8→11→10→12→9
Equipe 10	10→1→2→3→4→5→6→7→8→9→12→11→10
Equipe 11	11→1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→12→11
Equipe 12	12→1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→11→12
Equipes:	Caminho Solução do Melhor Vizinho
Equipe 1	1→8→4→2→3→5→6→7→10→9→12→11→1
Equipe 2	2→4→1→5→3→11→6→7→8→9→10→12→2
Equipe 3	3→1→2→11→6→4→5→9→7→8→10→12→3
Equipe 4	4→8→1→2→3→5→6→7→10→9→12→11→4
Equipe 5	5→4→1→2→3→11→6→7→8→9→10→12→5
Equipe 6	6→1→2→11→3→4→5→9→7→8→10→12→6
Equipe 7	7→4→1→2→3→5→6→8→10→9→12→11→7
Equipe 8	8→4→1→2→3→5→6→7→10→9→12→11→8
Equipe 9	9→1→2→11→3→4→5→6→7→8→10→12→9
Equipe 10	10→4→1→2→3→5→6→7→8→9→12→11→10
Equipe 11	11→4→1→2→3→5→6→7→8→9→10→12→11
Equipe 12	12→4→1→2→3→5→6→7→8→9→10→11→12

Equipes:	Caminho Solução Vizinho por Seleção Aleatória
Equipe 1	1→7→9→6→3→11→5→2→12→4→10→8→1
Equipe 2	2→5→12→4→10→8→1→7→9→6→3→11→2
Equipe 3	3→11→2→5→12→4→8→10→1→7→9→6→3
Equipe 4	4→10→8→1→7→9→6→3→11→5→2→12→4
Equipe 5	5→12→1→4→10→8→7→9→6→3→11→2→5
Equipe 6	6→3→11→2→5→12→1→4→10→8→7→9→6
Equipe 7	7→9→6→3→11→2→5→12→1→10→8→4→7
Equipe 8	8→1→7→9→6→3→11→2→5→12→4→10→8
Equipe 9	9→6→3→11→2→5→12→1→10→4→8→7→9
Equipe 10	10→8→1→7→9→6→3→11→2→5→12→4→10
Equipe 11	11→2→5→12→4→10→8→1→7→9→6→3→11
Equipe 12	12→4→10→8→1→7→9→6→3→11→2→5→12

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os métodos heurísticos mostraram ser eficientes, tanto na resolução, quanto nos resultados obtidos em tempo, pois quando executado o algoritmo, o problema foi resolvido, mesmo com a existência de milhares de combinações de rotas possíveis para cada equipe.

Tabela 24 – Tempo de execução do algoritmo na estrutura 3.

Equipes:	Tempo de execução do Algoritmo(s)
Equipe 1	7,562
Equipe 2	8,484
Equipe 3	8,609
Equipe 4	7,093
Equipe 5	8,531
Equipe 6	7,218
Equipe 7	7,484
Equipe 8	7,110
Equipe 9	8,765
Equipe 10	9,062
Equipe 11	7,187
Equipe 12	8,579
Média	7,974

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 25 – Tempo de execução do algoritmo na estrutura 4.

Equipes:	Tempo de execução do Algoritmo(s)
Equipe 1	20,515
Equipe 2	20,551
Equipe 3	20,062
Equipe 4	20,454
Equipe 5	20,327
Equipe 6	20,468
Equipe 7	20,546
Equipe 8	20,562
Equipe 9	20,046
Equipe 10	20,015
Equipe 11	20,688
Equipe 12	20,892
Média	20,427

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os tempos para execução do algoritmo com os 3 métodos heurísticos nas estruturas 3 e 4 em ordem respectivamente, são apresentados por equipe em ordem numérica crescente nas Tabelas 24 e 25. Conforme apresentado na Tabela 24, a variação do tempo de execução do algoritmo para as equipes na estrutura de competição 3 ficou entre 7,093 e 9,062 segundos com uma média de 7,974 segundos. Já, a Tabela 25 mostra os resultados de tempos da estrutura de competição 4, na qual, a variação do tempo de execução do algoritmo foi de 20,015 até 20,892 segundos para todas as equipes, com uma média de 20,427 segundos. Com esses resultados apresentados, os 3 métodos heurísticos utilizados resolveram o problema de forma rápida para as duas estruturas utilizadas.

6 CONCLUSÕES

A busca por melhoria dos deslocamentos, contribui de forma positiva para a redução de riscos das equipes esportivas que viajam grandes distâncias através de rodovias. Pois, dessa forma, ao diminuir o tempo em trânsito, além da própria segurança dos atletas, que ao passarem menos tempo em estradas, estarão menos expostos a riscos de acidentes de viagem, visto que este é um problema real, e já houveram acidentes com grandes equipes de futebol e equipes de outros esportes em todo o mundo, justamente nos deslocamentos para competições esportivas.

A aplicação desse trabalho, além de exemplificar a aplicação de métodos heurísticos através do contexto esportivo e de roteirização de equipes, também teve como foco buscar uma forma que contribuísse em melhoria no bem estar e possível redução de custos para pequenas equipes esportivas, de menor expressão em competições ou de locais distantes, como por exemplo, equipes dos interiores dos estados. Equipes com essas características são as que realmente necessitam de atenção das organizações de competições por terem os menores orçamentos, ou por realizarem viagens mais longas que dependendo das circunstâncias podem influenciar diretamente no desempenho como um todo dentro das competições, não proporcionando igualdade para todos. Com os 3 métodos heurísticos utilizados no trabalho, foi possível solucionar o problema com diferentes resultados e tempos baixos de resolução. Além disso, mostrou-se a flexibilidade de aplicação dos métodos, mesmo com as estruturas de competições 3 e 4 sendo modificadas e com números de jogos diferentes.

A partir dos dados de equipes participantes de uma competição esportiva, utilizados como exemplo neste trabalho, foi possível aplicar os métodos heurísticos escolhidos e obter resultados que comprovam a factibilidade dos métodos. Em relação aos resultados, na comparação percentual média, o método Solução Vizinho por Seleção Aleatória obteve melhor resultado dos 3 métodos utilizados, com variação de 38,02% na estrutura de competição 3 e 63,42% na estrutura de competição 4, ambos valores em redução de distâncias em relação ao método Solução Inicial. De fato, nesse trabalho o método Solução Vizinho por Seleção Aleatória foi eficiente, e com a diminuição da amplitude das distâncias, proporciona

equilíbrio para as equipes, além de diminuir o tempo e os riscos que as equipes enfrentam em rodovias.

Por fim, os métodos heurísticos apresentados no trabalho são apenas alguns dos métodos em que se pode resolver o problema. Espera-se que a forma utilizada possa contribuir futuramente a outros projetos, a fim de transmitir conhecimento e a resolver problemas desse tipo de uma forma otimizada. Além disso, fica como exemplo a possível aplicação desse trabalho para a realização de competições esportivas nas quais deslocamentos mínimos sejam interessantes. Isso pode ser especialmente interessante para competições amadoras de algumas modalidades. Uma possibilidade seria aplicação a torneios entre atléticas universitárias de diferentes localidades, cada qual escolhida como uma sede. Com os métodos propostos seria possível organizar uma competição esportiva universitária com rotas rodoviárias otimizadas a partir da aplicação de qualquer uma das heurísticas apresentadas.

REFERÊNCIAS

ALYRIO, R. D. **Métodos e técnicas de pesquisa em administração**. Volume único. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2007.

ASSIS, Gleisson de. Metaheurísticas. **GitHub**. Disponível em: <<https://github.com/gleissonassis/metaheurísticas/blob/master/05-swap/main.c>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR ISO 31000, 2009. Sistema de Gestão de Qualidade Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial – Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1993.

BIAJOLI, F. L. **Novas heurísticas para o problema de geração de escalas de jogos para torneios esportivos**. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada – INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 107. 2007.

BOAVENTURA NETTO, P. O., **Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos**. 5ª Edição revista e ampliada, Blucher, 2012.

CAUCHICK, M. P. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO. 2 ed., 2012.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: Criando redes que agregam valor**. 2ª edição. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L.; STEIN, C. **Algoritmos: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

CUNHA, C.B. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. Transportes, Rio de Janeiro, 2000.

ERBAO, Cao; MINGYONG, Lai. **A hybrid differential evolution algorithm to vehicle routing problem with fuzzy demands**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042709000636>>. Acesso em: 18 abr. 2020.

ESTRADAS. **Clubes de futebol não investem em segurança no trânsito**. Disponível em: <<https://estradas.com.br/clubes-de-futebol-nao-investem-em-seguranca-no-transito/>>. Acesso em: 25 maio. 2020.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FREEPIK. **Mapa 3d estado Brasil**. Disponível em: <https://image.freepik.com/vector-gratis/mapa-3d-estado-brasil_97886-4322.jpg>. Acesso em: 10 abr. 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GOLDBARG, M. C e LUNA, H. P., **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**, 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9º ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LACHTERMACHER, Gerson, 1956- **Pesquisa operacional na tomada de decisões** / Gerson Lachtermacher - 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MANZANO, José Augusto N. G. **Algoritmos: lógica para desenvolvimento de programação de computadores** / José Augusto N. G. Manzano, Jayr Figueiredo de Oliveira. - 28. ed. - São Paulo: Érica, 2016.

MOODY, P.A. **Introdução à evolução**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Brasília: Ed. UnB, 1975.

MORAIS, Izabelly Soares de. et al. **Algoritmo e Programação - Engenharia**; [revisão técnica: Jeferson Faleiro Leon]. – Porto Alegre: SAGAH, 2018.

SOBRAPO. **O que é pesquisa operacional**. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. Disponível em:< <https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 27 jul. 2020.

SUPER ESPORTES. **Maratona de jogos no futebol brasileiro leva elencos ao limite do desgaste**. Disponível em:<https://www.mg.superesportes.com.br/app/noticias/futebol/futebol-nacional/2021/05/31/noticia_futebol_nacional,3918113/maratona-de-jogos-no-futebol-brasileiro-leva-elencos-ao-limite-do-desgaste.shtml>. Acesso em: 17 jun. 2021.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

PARRAGH, S.N. **Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042709000636>>. Acesso em: 30 abr. 2020.

PIZZOLATO, Nélio D; GANDOLPHO, André Alvez. **Técnicas de Otimização**. – [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ZAMBONI, L. C.; PAMBOUKIAN, S. V. D.; BARROS, E. A. R. **Algoritmo de Dijkstra: apoio didático e multidisciplinar na implementação, simulação e utilização computacional**. WCCSETE: World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education. Anais. 2007.