

Utilização de Algoritmos Genéticos na Montagem de Tabelas de Campeonatos de Futebol

Pablo Fernando Lopes Costa
Bach. em Sistemas de Informação
 Univ. Federal do Rio Grande do Norte
 Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0009-0005-1955-7057>

Flavius da Luz e Gorgônio
Depto. de Computação e Tecnologia
 Univ. Federal do Rio Grande do Norte
 Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4926-3990>

Amarildo Jeiele Ferreira de Lucena
Centro de Informática
 Univ. Federal de Pernambuco
 Recife, PE, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-5980-4204>

Fabrcio Vale de Azevedo Guerra
Depto. de Computação e Tecnologia
 Univ. Federal do Rio Grande do Norte
 Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-1407-277X>

Francisco Márcio Barboza
Depto. de Computação e Tecnologia
 Univ. Federal do Rio Grande do Norte
 Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-1036-6634>

Huliane Medeiros da Silva
Departamento de Engenharias e Tecnologia
 Univ. Fed. Rural do Semi-Árido
 Pau dos Ferros, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4736-0252>

Resumo—Este artigo explora o uso de algoritmos genéticos para a montagem de tabelas do Campeonato Brasileiro de Futebol, com o objetivo de minimizar as distâncias percorridas pelas equipes e reduzir custos operacionais. Resultados empíricos dos experimentos demonstraram que a abordagem proposta obteve uma redução média de 25,75% na distância total percorrida, quando comparada à tabela oficial da CBF em 2024. Esses resultados evidenciam a viabilidade de uso desta técnica para otimização logística de tabelas em torneios esportivos.

Index Terms—Montagem de tabelas para campeonatos, Campeonato brasileiro de futebol, Algoritmos genéticos.

I. INTRODUÇÃO

O Campeonato Brasileiro de Futebol é o principal torneio entre clubes do futebol brasileiro, tendo iniciado oficialmente em 1971 pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF), que é a entidade responsável por reger tal esporte no país. Seu objetivo foi o de integrar os principais clubes do futebol brasileiro em uma única competição, o que não ocorria com os torneios existentes na época.

Em sua primeira edição, em 1971, o torneio foi disputado em três fases com a participação de 20 equipes. Nos anos seguintes, entre 1972 a 2002, foram introduzidas constantes mudanças no que diz respeito aos formatos, regras e número de equipes participantes. A CBF passou a modificar as normas a cada ano, alterando o número de equipes – que variou entre 16 (em 1987) e 97 (em 1979); a forma de divisão das equipes em grupos; o tamanho dos grupos; e o formato dos confrontos – ora havia confrontos entre as equipes do mesmo grupo, ora entre equipes de grupos diferentes. Em decorrência da dificuldade dos torcedores e das próprias equipes compreenderem as regras que eram constantemente alteradas, identificou-se a necessidade de criar um padrão de campeonato que perdurasse ao longo dos anos [1].

Em 2003, com a aprovação do Código do Torcedor [2] e com as exigências impostas aos clubes e à CBF, tal objetivo foi alcançado e um novo modelo de campeonato foi estabelecido,

trazendo simplicidade e organização ao futebol nacional. Esse modelo, denominado Torneio de Pontos Corridos, é composto por dois turnos: no primeiro, todos os participantes jogam entre si, alternando-se o mando de campo sempre que possível. No segundo turno, ocorrem os mesmos confrontos já realizados no primeiro turno, mantendo-se a mesma sequência de jogos, mas com o mando de campo invertido. Em ambos os turnos, o calendário dos jogos é divulgado antes do início do campeonato, podendo haver adiamento dos jogos durante a competição apenas em caso de força maior.

Visando evitar que alguma equipe se beneficie perante as demais, a CBF organiza a tabela de forma que haja alternância no mando de campo, ou seja, se uma equipe A for mandante na rodada x , deverá ser visitante na rodada $x+1$, exceto quando há uma quebra de ciclo (*break*) [3]. Desta forma, é exigido dos clubes um investimento de tempo e dinheiro no que diz respeito a viagens e preparação dos atletas para as diversas partidas a que são submetidos ao longo da temporada.

É importante destacar que algumas equipes cujas sedes não estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste acabam tendo que se deslocar mais do que outras para realizar seus jogos fora de casa. Isso se dá em razão do maior número de equipes das regiões Sul/Sudeste na competição. Por isso, para uma disputa mais justa, é de suma importância organizar calendários de forma a manter um equilíbrio entre as distâncias percorridas por cada equipe e a frequência em que as mesmas viajam.

A montagem de tabelas para campeonatos de pontos corridos, descrita na literatura como sendo um subconjunto do *Traveling Tournament Problem* (TTP), exige que um conjunto de restrições e objetivos seja satisfeito, tais como:

- a necessidade de uma equipe jogar apenas uma vez a cada rodada;
- a necessidade de uma equipe jogar uma única vez em uma data específica, tendo pelo menos 2 dias de repouso antes do próximo jogo;
- a alternância do mando de campo entre as rodadas;

- a impossibilidade de um estádio receber mais de um jogo no mesmo dia;
- entre outras.

Atualmente, a montagem das tabelas busca priorizar a estratégia das equipes jogarem alternadamente como visitantes e mandantes, sendo necessário deslocar-se para atuar como visitante em uma rodada e retornar à sua sede, na sequência, para disputar o jogo seguinte como mandante. Tais deslocamentos causam alguns impactos financeiros, dentre eles, o alto custo financeiro para deslocamento e hospedagem dos atletas e da comissão técnica, uma vez que cabe à CBF, em parceria com as equipes, arcar com diversos custos como transporte, alimentação e hospedagem [4], [5]. Além disso, viagens longas e constantes afetam diretamente o desgaste físico dos atletas, incluindo fatores como a desidratação devido à inalação do ar seco a bordo de aviões, rigidez dos músculos decorrente da inatividade durante o percurso e alterações de humor por causa do cansaço e incertezas associadas às viagens [6], [7].

Uma forma de reduzir os efeitos dessas viagens é montar uma tabela visando minimizar as distâncias percorridas pelas equipes. Porém, essa não é uma tarefa trivial por se tratar de um problema NP-Completo, no qual a quantidade de possibilidades de soluções existentes torna intratável a busca por uma solução ótima a partir da análise exaustiva de todas as possíveis combinações [8]. Por isso, tais problemas são comumente abordados através da utilização de métodos heurísticos, como *simulated annealing*, busca tabu e algoritmos evolutivos [9].

O presente trabalho propõe a utilização de uma meta-heurística evolutiva – denominada algoritmos genéticos – para montagem de tabelas do campeonato brasileiro de futebol, a fim de otimizar a busca por uma solução aceitável, que possa satisfazer as restrições que envolvem a montagem de uma tabela deste campeonato, ao mesmo tempo em que prioriza a redução das distâncias percorridas pelos clubes, visando minimizar os custos com viagens e o desgaste físico dos atletas.

A montagem de tabelas de campeonatos de futebol em nível local, regional, nacional e até internacional é um problema enfrentado por diversas entidades esportivas em todo o mundo, uma vez que envolve diversas questões administrativas e/ou financeiras, o envolvimento das equipes em campeonatos paralelos e a garantia de igualdade de condições para todas as equipes que disputam o campeonato, visando uma competição justa e equilibrada. Por estes motivos, a realização de pesquisas desta natureza se justifica a partir da necessidade de exploração ampla do espaço de busca, a fim de trazer alternativas para a resolução do problema de programação de torneios esportivos de forma mais rápida e eficaz.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: esta seção introdutória apresenta a problematização da pesquisa, os objetivos, a motivação e a justificativa; a seção seguinte traz o referencial teórico, onde são apresentados o problema de programação de torneios esportivos, o conceito de algoritmos genéticos e alguns trabalhos relacionados ao tema. A terceira seção apresenta a abordagem proposta, onde são detalhados

a representação cromossômica, os operadores genéticos, a função de avaliação e o design de um experimento realizado para comparar a distância percorrida pelas equipes entre a abordagem proposta e a tabela utilizada pela CBF em 2024. A quarta seção traz os resultados obtidos no teste realizado e uma discussão sobre as vantagens e limitações da proposta. Por fim, a quinta e última seção apresenta as conclusões obtidas com o experimento e algumas diretrizes para trabalhos futuros.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. O Problema da Programação dos Torneios Esportivos

A montagem de tabelas de campeonatos de futebol, conhecida como *Traveling Tournament Problem*, faz parte da classe de problemas chamada *Sports Scheduling*, cujo objetivo é organizar os confrontos entre equipes, sem repetições, dentro de um campeonato [10]. No caso do Campeonato Brasileiro de Futebol, além dessa restrição básica, há diversas outras, como a alternância de mando de campo, a limitação do número de jogos consecutivos como mandante ou visitante e a obrigatoriedade de que o segundo turno seja um espelho do primeiro.

Seguindo este raciocínio, conforme descrito na seção anterior, este trabalho objetiva montar tabelas que atendam às restrições inerentes ao formato atual do campeonato, acrescentando um item adicional: tentar minimizar as distâncias percorridas pelas equipes, buscando equilibrar essa variável entre todas as equipes participantes do campeonato.

Todas essas restrições fazem da montagem de tabelas para o Campeonato Brasileiro de Futebol um problema altamente complexo, classificado na literatura como NP-Completo. Neste tipo de problema, a quantidade de soluções possíveis cresce exponencialmente com o aumento do número de equipes, tornando a busca exaustiva por uma solução ótima impossível de ser realizada em um período de tempo aceitável [11]. O número de k possíveis soluções de tabelas válidas (ou factíveis) para um turno completo é representado pela Eq. (1):

$$k = (n - 1)!(n - 3)!(n - 5)! \dots (n - (n - 1))! 2^{(n-1)\frac{n}{2}} \quad (1)$$

onde n é um número par de participantes. Uma simulação de possíveis valores de k obtidos para diferentes valores de n pode ser vista na Tabela I.

B. Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos (AG) são algoritmos evolutivos inspirados na Teoria da Evolução de Charles Darwin [13] e utilizam-se de técnicas heurísticas em sua busca por soluções promissoras para o problema a ser tratado. Estes algoritmos fazem parte de uma subárea denominada computação bioinspirada, um campo de estudo baseado no comportamento dos seres vivos – sejam eles animais, insetos ou demais organismos vivos [14].

Os algoritmos genéticos são compostos por uma população de cromossomos – indivíduos representativos de possíveis soluções para o problema –, por uma função de avaliação, pelo método de seleção dos indivíduos mais aptos e pelos

Tabela I
NÚMERO DE POSSIBILIDADES DE TABELAS FACTÍVEIS PARA A
COMPOSIÇÃO DE UM TORNEIO COMPLETO

Equipes Participantes	Número de Tabelas Factíveis
2	2
4	384
6	$2,36 \times 10^7$
8	$9,74 \times 10^{14}$
10	$4,63 \times 10^{25}$
12	$3,88 \times 10^{39}$
14	$8,10 \times 10^{56}$
16	$5,69 \times 10^{77}$
18	$1,74 \times 10^{102}$
20	$2,91 \times 10^{130}$

Fonte: Adaptado de [12]

operadores de combinação e de mutação [15]. O fluxo de execução de um AG [16] pode ser visualizado na Figura 1.

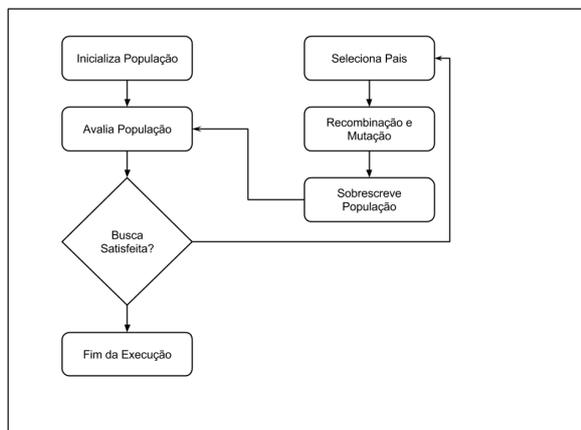


Figura 1. Fluxo de execução de um algoritmo genético.

Em uma abordagem que utilize algoritmos genéticos, populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos: seleção, recombinação (*crossover*) e mutação, onde tais operadores são responsáveis por gerar novos indivíduos como possíveis soluções do problema [16], [17].

C. Trabalhos Relacionados

Em [18] é apresentado um algoritmo de otimização para solucionar o problema de programação de tabelas de campeonatos de futebol em uma competição hipotética de abrangência estadual. A solução propõe a integração do algoritmo Goal-Ufop, que utiliza técnicas de programação inteira para modelar as restrições do problema e encontrar uma solução satisfatória, minimizando a função objetivo. A solução é composta por duas etapas: a utilização de heurísticas para gerar soluções iniciais e um algoritmo fix-and-optimize para melhorar essas soluções. Como resultado, foi gerada uma interface configurável capaz de atender às mais diversas restrições e gerar tabelas válidas e otimizadas.

Em [19], o autor utilizou um algoritmo híbrido baseado em várias heurísticas. Na primeira etapa, utilizou uma solução

de heurística gulosa com grafos para gerar uma solução inicial. Na segunda, utilizou uma heurística de melhor vizinho para deslocar as equipes visitantes. Por fim, utilizou uma heurística de seleção aleatória, que funciona de forma idêntica ao método anterior, mas utilizando um vetor de busca gerado aleatoriamente, a fim de randomizar os vértices mais próximos. Como resultado, foi feita a comparação das soluções geradas em cada heurística, mostrando que ao aplicar a heurística de melhor vizinho sobre a solução gerada pela heurística gulosa, melhorou em 20% a solução e ao aplicar a heurística de melhor vizinho por seleção aleatória sobre a solução anterior, melhorou mais 22%.

Em [20], os autores propuseram um algoritmo baseado em fator de aproximação como solução para o problema de programação de torneios esportivos. O algoritmo consiste em utilizar a abordagem da teoria dos grafos para obter o melhor fator de aproximação para o problema, onde as equipes são referidas como vértices e as distâncias entre os locais das partidas são referidas como pesos das arestas do grafo. Como resultado, o algoritmo reduziu em 15% a distância percorrida em comparação com o calendário real do Campeonato Indiano de Futebol (Indian Premier League - IPL).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Representação Cromossômica

Para fins de representação da estrutura cromossômica utilizada na solução proposta, considere-se um campeonato envolvendo $n = 4$ equipes, conforme (Tabela II). Neste cenário, são consideradas as seguintes proposições:

- cada tabela-solução consiste em dois turnos;
- cada turno é composto por 3 rodadas;
- cada rodada possui 2 jogos (ou partidas);
- em cada partida se enfrentam 2 equipes;
- cada equipe é representada por um mesmo valor numérico ao longo do campeonato.

Tabela II
REPRESENTAÇÃO DAS EQUIPES

Equipes			
1	2	3	4

Cada partida do campeonato é representada por um vetor de duas posições, onde a primeira posição indica a equipe que joga em casa (mandante) e a segunda posição representa a equipe que joga fora de casa (visitante), conforme a Figura 2.

Equipe Mandante	Equipe Visitante
1	2

Figura 2. Representação de uma partida de futebol

Cada rodada é representada por um vetor de $n/2$ posições, sendo n o número de equipes. Dentro deste vetor, estão

representadas todas as partidas daquela determinada rodada, sendo que cada posição do vetor representa uma partida, como ilustrado na Figura 3.

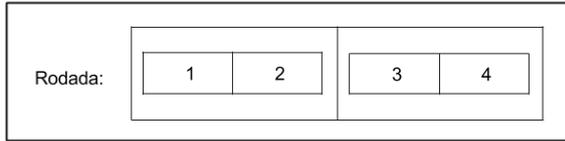


Figura 3. Representação de uma rodada campeonato de futebol

Por fim, em um campeonato de pontos corridos que é dividido em dois turnos, o segundo é o espelho do primeiro. Por isso, apenas o primeiro turno será representado dentro do modelo, já que o outro turno pode ser facilmente gerado invertendo-se os mandos de campo. Desta forma, uma tabela-solução corresponde a um objeto composto por $n - 1$ rodadas, sendo n o número de equipes, conforme Figura 4.

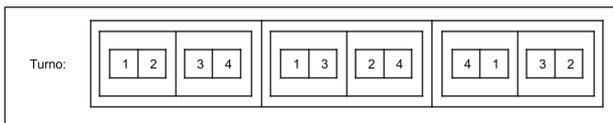


Figura 4. Representação de um turno de campeonato de futebol

B. População Inicial

A inicialização de uma população deve ser a mais simples possível [21], para isso foi gerada uma solução padrão válida de forma aleatória. A partir da solução padrão, são criados novos indivíduos aplicando-se uma série de permutas aleatórias: escolhe-se uma equipe A e uma equipe B e faz-se a permuta dessas em todas as ocorrências, como descrito na Figura 5, com o objetivo de gerar indivíduos diferenciados.

C. Função de Avaliação

Quando um indivíduo é gerado, é necessário atribuir ao mesmo um valor de aptidão que é utilizado como parâmetro de seleção desses indivíduos. Esta aptidão foi calculada a partir da função de avaliação dada pela soma de: a) distâncias percorridas pelas equipes em cada jogo; b) pelas punições aplicadas ao indivíduo quando uma ou mais equipes jogam uma sequência de três ou mais jogos como mandante ou visitante.

O objetivo da pesquisa é diminuir as distâncias percorridas pelas equipes, caracterizando-se como um problema de otimização do tipo minimização. Porém, para efeito de simplificação dos valores envolvidos, a avaliação atribuída aos indivíduos é dada por $\frac{1}{F(x)}$, sendo $F(x)$ a função de avaliação representada pela Equação (2).

$$F(x) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{o-1} D_{L S_{i j k}} S_{i j 0} + (p * q) \quad (2)$$

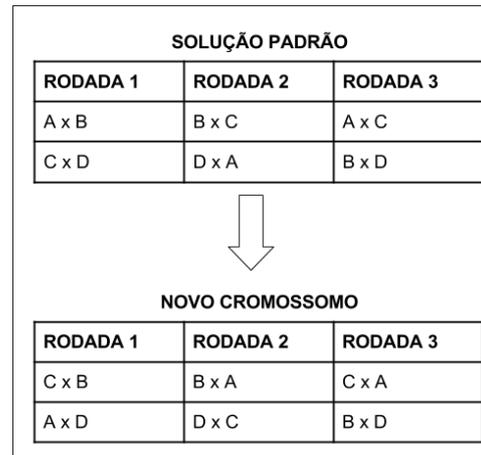


Figura 5. Exemplo de uma permuta entre a equipe A e a equipe C na geração de um novo indivíduo para compor a população inicial.

onde:

D é a matriz de distância entre as equipes; L é o vetor de localização atual das equipes; S é a solução proposta; n é o número de rodadas; m é o número de jogos em uma rodada; o é o número de equipes em um jogo; p é a punição por infringir regras; q é a quantidade de vezes em que houve infração das regras.

Desta forma, quanto maior a avaliação atribuída, menor é a distância percorrida pelas equipes e, conseqüentemente, o indivíduo é mais apto à resolução do problema.

D. Seleção dos Pais

O método utilizado para selecionar os pais para gerar novos indivíduos foi o método da roleta, semelhante ao descrito em [21]. Porém, foi utilizada a atribuição acumulativa para determinar a fatia dada a cada indivíduo. Um exemplo de aplicação desse método pode ser visto na Figura 6.

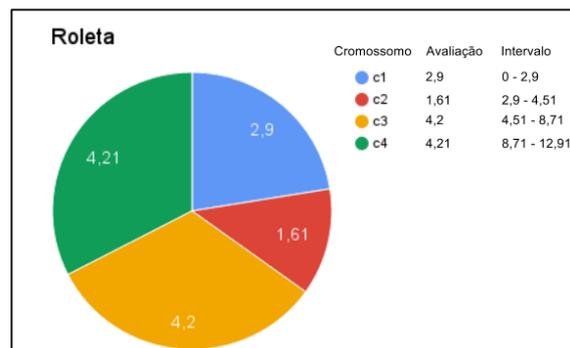


Figura 6. Exemplo de atribuição acumulativa

Para selecionar um pai, foi sorteado um valor $x \in \mathbb{R}$, no intervalo $[0, s]$, onde s é a soma da avaliação de todos os indivíduos da população. O indivíduo sorteado é aquele cujo

valor de x corresponde ao intervalo onde este se encontra, como pode ser visto na Tabela III.

Tabela III
REPRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO DE SORTEIO DOS PAIS (EQUIPES)

Número Sorteado	Cromossomo Escolhido
12,65	c4
5,42	c3
6,97	c3
2,32	c1

Fonte: O autor

E. Operadores Genéticos

A seguir serão apresentados o operador de cruzamento (*crossover*) e o operador de mutação que foram utilizados pelo algoritmo genético para gerar novos indivíduos.

1) *Cruzamento*: Devido à necessidade de preservar a integridade das tabelas, para que não sejam geradas tabelas nas quais as regras do campeonato sejam violadas (inactíveis), optou-se por utilizar o conceito de reprodução assexuada, onde um indivíduo se reproduz sem a presença de um parceiro. Para isso, este cruzamento utilizou 2 pontos de corte escolhidos de forma aleatória e as rodadas entre o primeiro e o segundo ponto de corte foram embaralhadas de forma também aleatória, como pode ser visto na Figura 7.

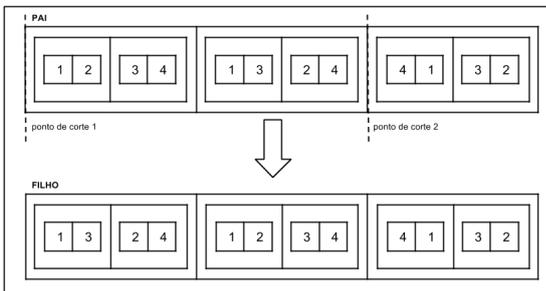


Figura 7. Exemplo de um operador de cruzamento com 2 pontos de corte

2) *Mutação*: O operador utilizado foi a mutação em ordem, que consiste na permuta entre uma equipe A e uma equipe B, escolhidas de forma aleatória. A permuta é então realizada em todas as ocorrências no indivíduo que foi selecionado para sofrer mutação, como pode ser visto na Figura 8.

F. Design do Experimento

Para fins de verificação do desempenho, foi realizado um teste comparativo entre a solução proposta, que utiliza algoritmos genéticos, e a solução padrão adotada para a montagem da tabela do Campeonato Brasileiro de Futebol - Série A, criada pela CBF para o ano de 2024, onde as equipes percorreram ao todo 769.450 Km ao longo do campeonato.

Após análise preliminar, o algoritmo foi executado 30 vezes, utilizando diferentes configurações de parâmetros, incluindo:

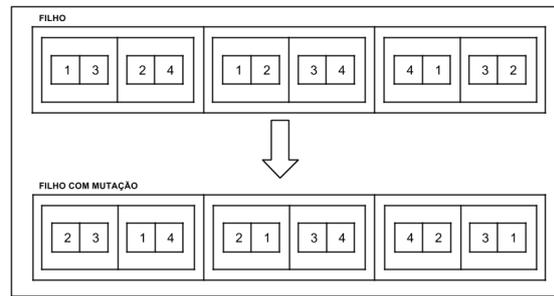


Figura 8. Aplicação do operador de mutação em um cromossomo selecionado, permutando-se os jogos entre a equipe 1 e a equipe 2.

1) *População inicial*: foi definida com tamanho 1000, valor que ofereceu melhor equilíbrio entre diversidade populacional e eficiência computacional. Tamanhos menores levaram a uma convergência prematura, restringindo a busca por alternativas potencialmente melhores, e tamanhos maiores não geraram melhorias significativas na qualidade da solução final e aumentaram consideravelmente o custo computacional;

2) *Mutação*: os melhores resultados foram obtidos com taxa de mutação de 5%, equilibrando a introdução de diversidade genética no processo evolutivo e a estabilidade necessária para a convergência das soluções;

3) *Número de gerações*: foram realizadas 5 execuções para cada conjunto de parâmetros, resultando em 30 execuções.

A cada execução, foi obtida uma tabela-solução completa para o campeonato, acompanhada da sua avaliação e da soma das distâncias percorridas pelas equipes. Para análise dos resultados obtidos, foram utilizadas a distância total média e o desvio-padrão dos resultados do algoritmo, que foram comparados à solução proposta pela CBF (Tabela IV).

Para desenvolvimento da solução proposta e realização dos testes, foi utilizado um computador com processador Core i7 11700K com 4.9GHz turbo e 16MB cache, 128GB de memória RAM sob um sistema operacional Windows, sendo que o algoritmo foi executado 5 vezes para cada conjunto de parâmetros.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a qualidade da solução proposta em um cenário real, foi considerada a distância total percorrida pelas equipes do Campeonato Brasileiro de Futebol no ano de 2024. Os valores de distâncias percorridas obtidos pela solução gerada a partir da abordagem proposta neste trabalho, com diferentes configurações do algoritmo (número de gerações de população), foram confrontados com a tabela oficial da Série A elaborada pela CBF. A escolha do ano de 2024 se deu pelo fato de serem os dados mais recentes da competição, o que facilitou a obtenção de informações acerca dos jogos disputados e dos respectivos locais de ocorrência dos jogos.

Os resultados obtidos, apresentados na Tabela IV, demonstram uma redução considerável na distância total percorrida pelas equipes, superando os resultados descritos em trabalhos

semelhantes como [19] e [20]. Foram obtidas reduções de mais de 23% na distância percorrida para todas as configurações testadas (ou seja, com diferentes números de gerações), demonstrando a estabilidade da solução proposta.

Uma crítica comumente atribuída ao uso de algoritmos genéticos é o alto custo computacional de sua utilização, devido ao tempo de processamento necessário para se obter boas soluções. Entretanto, como pode ser observado nos resultados apresentados, foi possível obter resultados confiáveis mesmo com baixo número de gerações. Para fins de comparação com outras propostas, a estratégia apresentada produz uma tabela-solução com 100 gerações em cerca de 40 minutos, o que reforça a viabilidade da solução proposta.

Tabela IV
DISTÂNCIA TOTAL A SER PERCORRIDA PELAS EQUIPES (EM KM), PARA AS TABELAS PROPOSTAS

Nº de Gerações	Distância Total Percorrida pelas Equipes (Km)		
	Dist. Média (Km)	Desvio-padrão (Km)	Redução ^a (%)
100	549.555,20	21.847,71	28,58%
200	573.982,00	17.266,98	25,40%
300	582.160,00	24.391,03	24,34%
400	564.120,80	23.226,87	26,69%
500	587.064,40	16.171,63	23,70%
1000	571.176,40	17.748,33	25,77%

^aEm relação à distância total (em Km) percorrida pelas equipes em 2024.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo abordou o problema da elaboração de tabelas para campeonatos de futebol, utilizando uma abordagem heurística baseada em algoritmos genéticos. O principal objetivo dessa metodologia foi minimizar as distâncias percorridas pelas equipes, reduzindo os custos financeiros associados aos deslocamentos e o desgaste físico dos atletas.

A aplicação da abordagem proposta ao cenário do Campeonato Brasileiro Série A - 2024 resultou na geração de 30 propostas alternativas de tabelas que foram analisadas com base na distância total que seria percorrida pelas equipes caso tivessem sido adotadas, em comparação com a distância efetivamente percorrida ao longo da competição naquele ano. A abordagem proposta obteve uma redução média de 198.106,87 Km nos deslocamentos, correspondendo a uma diminuição de 25,75% na distância total percorrida.

Embora a pesquisa tenha sido desenvolvida especificamente para o Campeonato Brasileiro de Futebol da Série A, no formato atual de pontos corridos, a metodologia pode ser adaptada para outras competições com características semelhantes, como a Série B, que adota formato e regras análogas.

Cabe destacar, entretanto, que algumas restrições logísticas e de segurança da competição não foram contempladas nesta etapa inicial, mas poderão ser incorporadas em estudos futuros. Dentre essas restrições, destacam-se: i) a necessidade de evitar a realização de clássicos — jogos entre equipes de maior rivalidade — em dias úteis, quando a oferta de transporte é reduzida e as partidas se encerram após as 23h; ii) a prevenção da ocorrência de dois clássicos na mesma cidade e na mesma data, por razões de segurança; e iii) a

minimização da sequência de clássicos consecutivos, fator que pode intensificar o desgaste psicológico dos jogadores devido às pressões inerentes a esses confrontos.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Assaf, *História Completa do Brasileiro - 1971/2009*. Rio de Janeiro, RJ: Lance Publicações, 2009.
- [2] Brasil, "Lei n. 10.671 Dispõe sobre o Estatuto de Defesa do Torcedor e dá outras providências." Brasília, DF.
- [3] D. Goossens, J. Beliën, "Teaching Integer Programming by Scheduling the Belgian Soccer League," *INFORMS Transactions on Education*, vol. 23, no. 3, pp. 164–172, May 2022, <https://doi.org/10.1287/ited.2022.0269>.
- [4] A. S. Krupp, A. O. Souza, "Contabilidade esportiva: ênfase ao faturamento dos clubes de futebol," *Revista Eletrônica de Ciências Contábeis*, vol. 9, pp. 26–54, Dez, 2016.
- [5] M. B. Guimarães, A. M. Oliveira, P. B. Paoli, A prospecção do talento no futebol brasileiro: diagnóstico estrutural e financeiro do processo de captação de atletas. Curitiba, PR: Editora Appris, 2020.
- [6] D. C. Jance Van Rensburg, A. Janse Van Rensburg, P. M. Fowler, et al, "Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement." *Sports Med*, vol. 51, pp. 2029–2050, Jul, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01502-0>.
- [7] D. Touguinhó, M. Robalinho, C. Andrade, F. Vasconcellos, "A influência das distâncias viajadas nos indicadores de performance das equipes do campeonato brasileiro série A nas temporadas 2015-2019," *Motricidade*, vol. 19, n. 1, pp. 12–21, 2023, <https://doi.org/10.6063/motricidade.26867>.
- [8] S. Bendayan, *The Traveling Tournament Problem*, Waterloo, ON, Canadá: University of Waterloo, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10012/18553>.
- [9] A. J. T. Maciel Filho, Aplicação de uma meta-heurística para o problema de alocação de jogos do campeonato brasileiro de futebol, João Monlevade, MG, Brasil: UFOP, 2017. [Online]. Available: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/391>.
- [10] C. C. Ribeiro, S. Urrutia, D. de Werra, *Combinatorial Models for Scheduling Sports Tournaments*, 1ª ed., Cham, Zug, Suíça: Ed. Springer, 2023.
- [11] S. Russel, P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed., Hoboken, NJ: Pearson, 2021.
- [12] R. Concílio, F. J. Von Zuben, "Uma abordagem evolutiva para geração automática de turnos completos em torneios," *Sba Controle e Automação*, vol. 13, n.2, pp.105–122. Ago, 2002, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592002000200003>.
- [13] C. R. Darwin. *On the origin of species..* Londres: John Murray, 1859.
- [14] P. S. Game, V. Vaze, M. Emmanuel, "Bio-inspired Optimization: metaheuristic algorithms for optimization," *Neural and Evolutionary Computing*, pp. 1–9, Jan, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.11637>.
- [15] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- [16] J. R. Koza, *Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- [17] D. A. F. Schmiele, *Algoritmos genéticos aplicados à análise estratégica de jogos de tabuleiro*, Patos de Minas, MG, Brasil: UFU, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39855>.
- [18] A. B. Teotonio, *Sistema web para programação de tabelas de competições esportivas*, João Monlevade, MG, Brasil: UFOP, 2023. [Online]. Available: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5450>.
- [19] H. R. M. Pereira, *Otimização de rotas através de heurísticas aplicadas a uma competição esportiva*, Ponta Grossa, PR, Brasil: UTFP, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29063>.
- [20] D. Chatterjee, R. Bimal, "An Improved Scheduling Algorithm for Traveling Tournament Problem with Maximum Trip Length Two," *Symposium on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems*, vol. 96, no. 21, pp. 16:1–16:15, Set 2021, <https://doi.org/10.4230/OASiCS.ATMOS.2021.16>.
- [21] R. Linden, *Algoritmos Genéticos*, 3ª ed., Rio de Janeiro, RJ: Ed. Ciência Moderna Ltda., 2012.