

Análise do Caminho de Build-up mais Frequente em Partidas de Futebol

Alaide Lisandra Melo Carvalho

Instituto Metrópole Digital - IMD

Resumo

A ciência tem ajudado a embasar as decisões e análises dos profissionais das mais diversas áreas da sociedade, no futebol não tem sido diferente. A análise dos aspectos que constituem as partidas do esporte tem apresentado um grande aumento de importância nas últimas décadas. Um desses aspectos se refere ao fluxo de passes durante uma partida, esse pode ser representado, modelado e analisado por meio das ferramentas fornecidas pela Teoria de Grafos. Visando isso, a presente pesquisa propõe o estudo do algoritmo de caminho mais frequente durante a criações de jogadas de uma equipe durante uma partida de futebol.

Palavras-chave: Futebol, Grafos, Redes de Passes, Caminho mais Frequente

1. Introdução

A relação entre ciência e futebol tem sido intensificada nas últimas décadas, seguindo o padrão da indústria, setor de serviços e sociedade em geral. Ainda, o aumento da produção científica relacionada ao esporte e de posições cientificamente orientadas dentro das organizações de futebolísticas corroboram com o fato de que a compreensão científica do futebol progrediu substancialmente nos últimos 30 ou 40 anos [1].

Tendo base nessa realidade, é notável que o estudo dos mais diversos aspectos

*Autora correspondente

Email address: lisandra.melo.095@ufrn.edu.br (Alaide Lisandra Melo Carvalho)

que permeiam uma partida de futebol é imperioso para o desenvolvimento bem embasado da prática esportiva.

Um desses aspectos, o conjunto de passes realizados durante as criações de jogadas, é um indicador de alta relevância na análise de performances individuais e coletivas em uma partida. Uma forma de quantificar tal indicador é a partir da contagem e representação gráfica de jogadores em suas respectivas posições e de seus relacionamentos entre si como a quantidade de passes realizadas. Tais sistemas podem fazer uso de estruturas de dados como grafos para sua construção, essas são chamadas de Redes de Passes, ou do inglês *Passing Networks*, isso, pois a representação em grafo dos passes realizados se assemelham bastante com redes como aquelas usadas na representação de interações em redes sociais.

À vista disso, o uso de Redes de Passes que são sistemas dinâmicos, compostos por unidades articuladas e interativas que permitem a identificação, quantificação da execução do jogo ao longo do tempo [2], por meio de representação em Grafos, bem como, a análise destas com o uso de técnicas presentes na própria Teoria de Grafos, se apresenta como uma possibilidade de bom potencial para o estudo do comportamento de times e jogadores durante partidas de futebol.

Por fim, diante do exposto previamente, o presente trabalho busca utilizar técnicas de Teoria de Grafos para analisar os caminhos de *build-up* mais frequentes, de modo a entender a execução da armação de jogadas por equipes em uma partida. A seguir, encontram-se as seções de Descrição do Problema Real, Modelagem em Grafos e Conclusão.

2. Conceitos e Termos Importantes

Nesta seção dissecaremos termos técnicos de futebol que serão utilizados livremente durante o percurso do artigo. Tal descrição busca explorar os termos de modo a esclarecer não somente seus significados, mas suas devidas aplicabilidades na análise do esporte.

2.1. *Build-up: A Armação de Jogadas*

Na execução de partidas de futebol, a maneira na qual uma equipe se porta em campo pode ser dividida em fases. Estas podem ser defensivas que ocorrem quando a equipe não tem a posse, que não serão analisadas no presente trabalho, e podem ser ofensivas que ocorrem quando há a posse de bola por parte da equipe. As fases ofensivas recebem progressão a partir de *carry* que é carregamento de bola ou drible no qual o jogador em posse progride no campo com posse da bola, e progressão a partir de passes que consiste no toque de bola para companheiros de equipes.

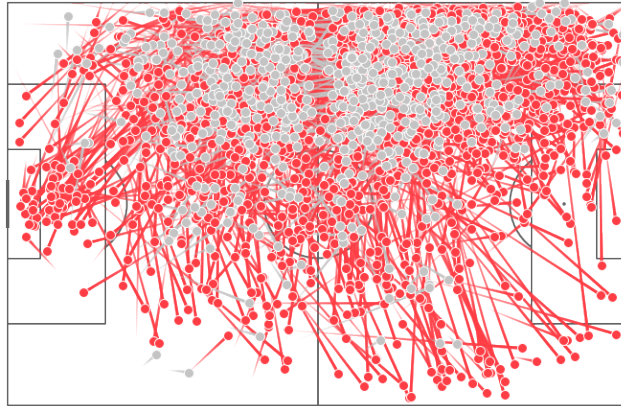


Figura 1: Mapa de Campo de todos os Passes (pontos em vermelho) e Carries (pontos em cinza) do jogador Daley Blind pela equipe do AFC Ajax durante a temporada europeia de 2021/2022. Fonte: UtdArena[3]

A fase ofensiva, que será o foco do presente trabalho, pode ser dividida ainda em dois tipos: a transição ofensiva, que tem base no contra-ataque e busca explorar espaços ou oportunidades geradas por defesas desorganizadas [4]; e a organização ofensiva, nessa a equipe irá atacar de forma organizada com os jogadores ocupando suas funções ofensivas no campo e coletivamente tentam fazer a bola chegar a meta adversária [5].

Por fim, o *Build-up* se dá na armação de jogadas durante tais fases de uma partida de futebol, tal armação pode se dar de forma rápida com poucos passes

e passes diretos, tal como, exigido na fase de transição ofensiva. Ou se dar de forma mais lenta e organizada, com passes curtos que buscam levar a bola à meta adversária apesar de jogar contra uma defesa organizada.

2.2. Do Goleiro ao Centroavante: Sistemas de Táticos e a Importância das Peças Mais Apartadas de Equipes de Futebol

Táticas e formações representam partes essenciais do esporte mas que ganharam ainda mais relevância no último século com o advento de revoluções como o jogo defensivo italiano, o 4-2-4 que acompanhado de estrelas como Garrincha alcançou o bicampeonato mundial brasileiro[6], o futebol total proposto por Rinus Michels na Holanda ou até mesmo o tik-taka proposto por Johan Cruyff. A partir dessas revoluções e muitas outras o futebol evoluiu de táticas como 1-1-8 (um defensor, um meio de campo e oito atacantes) para formações mais equilibradas como o 4-2-3-1 (quatro defensores - dois zagueiros e dois laterais, dois volantes, três meios de campo ofensivos e um atacante)[7]. Tais formações propõem, dessa forma, a base de posicionamento de jogadores dentro de campo e podem variar em momentos ofensivos e defensivos e até mesmo em momentos específicos de partidas.

Junto às formações, instruções de jogadas, funções, formas de defesa, maneiras de se levar a bola à meta adversária, maneira de cobranças de bolas paradas e diversos outros aspectos que ditam como o jogo deve ser jogado pelos jogadores constituem as táticas de equipes. As táticas então são essenciais na forma específica em que jogadas de cada equipe são criadas, isto é, táticas regem como o *Build-up* de cada equipe deve ocorrer.

Contudo, apesar das diversas possibilidades de táticas, a imensa maioria apresenta um padrão de ao menos um atacante, isto é, jogador mais ofensivo que em situações de ataque se encontra próximo ou dentro da área adversária. Um atacante pode se posicionar de forma mais aberta, geralmente, referido como ponta ou ala (*Winger*) ou de forma mais central conhecido como centroavante (*Striker*), essas posições são as mais relevantes ao futebol atual, as que recebem mais premiações, críticas e atenção no geral.

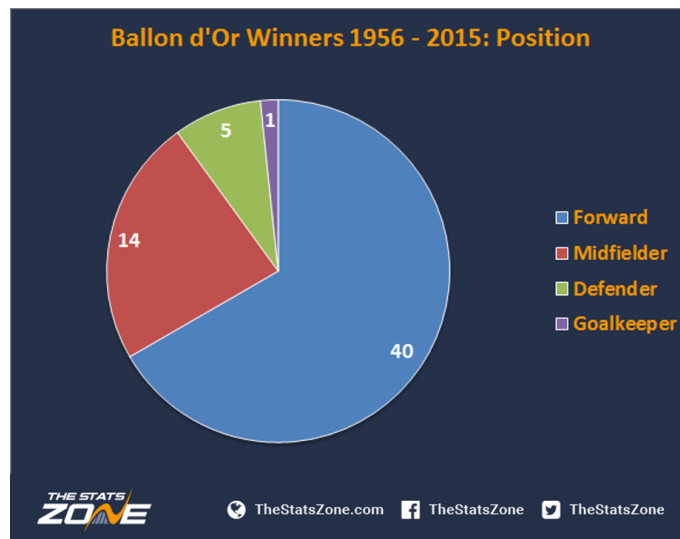


Figura 2: Divisão de prêmios Ballon d'Or por posição em campo (Forward: Atacante, Midfielder: Meio de Campo, Defender: Defensor, Goalkeeper: Goleiro). Fonte: The Stats Zone[8]

O que mais importa ao presente trabalho porém é que elas representam, geralmente, o ponto final da armação de jogadas de uma equipe, já que o centroavante se posiciona como o finalizador de jogadas de uma equipe.

Além disso, outra posição essencial ao futebol atual, é o goleiro. Isso não somente por sua habilidade como um defensor de chutes, mas como um participante ativo na criação de jogadas, tanto em esquemas com base na construção lenta e cadenciada de jogadas (esquemas com base no tik-taka por exemplo) quanto em esquemas com transição rápida ofensiva. No primeiro, o goleiro representa a peça inicial na construção de jogadas realizando geralmente conexões com zagueiros ou volantes, já no segundo, a partir de chutões ou lançamentos pelo alto, o goleiro realiza uma ligação direta entre defesa e ataque buscando, geralmente, pontas ou centroavantes.



Figura 3: Passes até um chute a gol. Cada ponto representa um passe, a linha representa o chute. O ponto mais a direita da imagem é o goleiro da equipe que direciona a bola a uma ponta que passa ao atacante que chuta ao gol em uma transição rápida. Fonte: WhoScored[9]

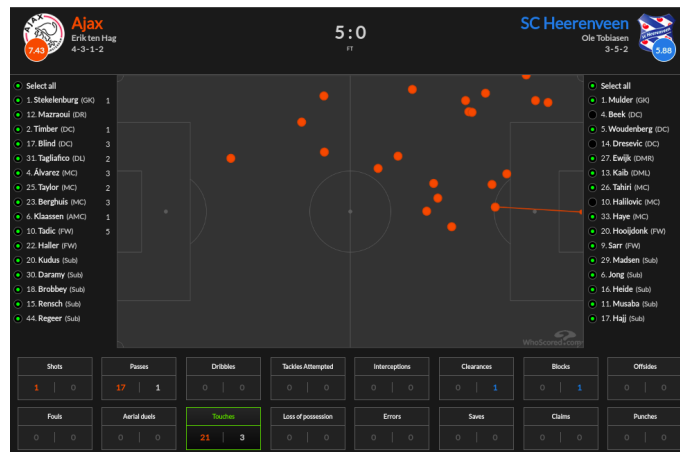


Figura 4: Passes até um chute a gol. Nesse caso, o goleiro está mais à esquerda da tela e inicia uma jogada direcionando a bola a um lateral. Fonte: WhoScored[10]

Portanto, uma forma de perceber como ocorre o fluxo de armação de jogadas em uma equipe no futebol moderno é estudando de que modo a bola sai do goleiro, peça inicial, e chega ao atacante, peça final.

3. Descrição do problema real

Durante uma partida de futebol, a relação de passes executados entre membros de uma equipe pode ser dimensionada quantitativamente. Tal análise tem alta relevância para o estudo de equipes, pois, a partir desta, pode-se entender sobre o fluxo de jogadas, os métodos de armação de ataques e a participação de indivíduos específicos na execução do jogo.



Figura 5: Representação de linhas de passes em uma jogada. Fonte: SciSports[11]

Nesse sentido, o estudo do caminho, ou fluxo, percorrido pela bola na construção de jogadas representa uma das maneiras da análise de passes realizados por uma equipe em uma partida do esporte. A partir de tal análise, podemos inferir quais fases são predominantes nas situações ofensivas das equipes, quais jogadores mais participam de jogadas além de diversas outras análises que podem ajudar a entender aspectos ofensivos de equipes. Portanto, o presente artigo propõe o estudo do fluxo principal, ou mais frequente, entre as duas peças mais proeminentes verticalmente nos jogos de equipes, o goleiro, ponto inicial na maioria das jogadas, e o (ou um dos) centroavante.

4. Modelagem em grafos

Para a modelagem desse tipo de situação, majoritariamente, são escolhidas as *Passing Networks*, ou Redes de Passes. Tais redes são representadas utilizando Grafos Ponderados Direcionados ou não-Direcionados [2, 12, 13].

Essas estruturas consideram jogadores como os vértices de um grafo e arestas com pesos referentes a quantidade de passes realizadas entre jogadores - em grafos não direcionados. Especificamente, grafos direcionados contam com a quantidade de passes realizados de um jogador para outro. Um exemplo de estrutura como a explicada anteriormente pode ser vista na Figura 2.

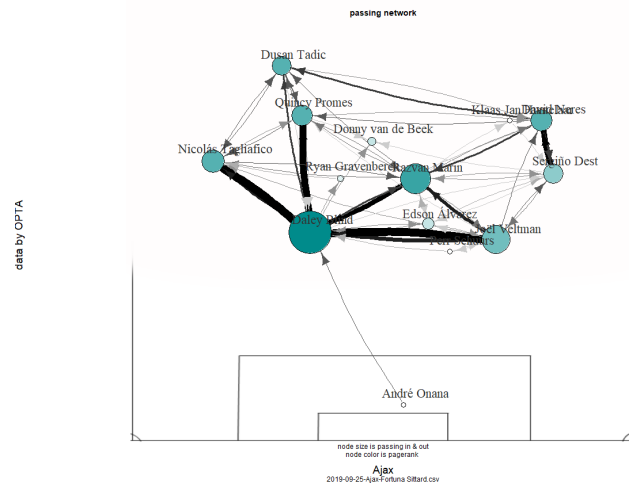


Figura 6: Rede de passes da equipe AFC Ajax em uma partida da liga holandesa contra a equipe Fortuna Sittard em 25 de setembro de 2019. Fonte: Jan Mullenberg[14]

Além disso, tais redes podem ser armazenadas da mesma forma que grafos comuns, como, por exemplo, utilizando matrizes de adjacências com a representação numérica da quantidade de passes como os pesos das relações entre vértices (jogadores) na estrutura. Tal estrutura é representada na Figura 3.

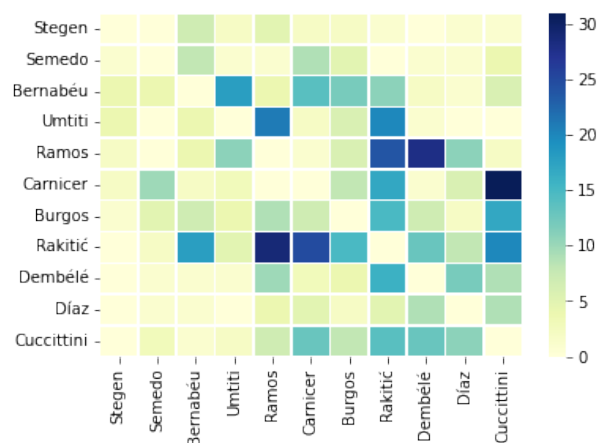


Figura 7: Matriz de Adjacência dos passes da equipe Barcelona em uma partida da liga espanhola contra a equipe do Alavés em 18 de agosto de 2018. Fonte: Própria

No caso específico do nosso problema, iremos considerar como pesos das arestas entre os jogadores a quantidade de minutos para um passe. Dessa forma, quanto menor os pesos das arestas, maior a quantidade de passes realizados pelo jogador. De modo a abstrair operações complexas de acessos a dados nas bases de dados, consideraremos que todos os jogadores titulares das equipes jogaram 90 minutos. Portanto, no fim teremos como os pesos das arestas, 90 (minutos) divididos pela quantidade de passes realizados durante uma partida por um jogador.

Nesse sentido, ainda é importante mencionar que, nessa modelagem, teremos que encontrar o caminho de menores pesos para encontrarmos o caminho de Build-up menos frequente.

5. Estado da Arte

5.1. Revisão Bibliográfica

Como mencionado previamente, o uso da análise de dados tem crescido bastante nos esportes, no futebol a análise do que tem sido produzido de dados em partidas é imperioso em áreas de não somente análise de desempenho, mas

também, na organização tática proposta por comissões técnicas e na preparação e organização de treinamentos.

Nesse sentido, estudos que buscam analisar redes de passes têm aumentado em quantidade de acordo com os anos, fato corroborado por Caicedo-Parada, Lago-Peñas e Ortega-Toro (2020) que na realização de uma Revisão Sistemática encontraram a seguinte distribuição de artigos por ano: 25% em 2018, 20,8% cada em 2016 e 2019, 12,5% em 2017, 8,3% em 2015 e 4,1% cada em 2011, 2012 e 2014. [2].

Ademais, os estudos realizados na área temática têm tido os mais diversos enfoques. Por exemplo, McClean e Salmon em 2019 propuseram um estudo, com base em Análise de Redes Sociais, que buscou estudar a conectividade de equipes e a presença de conexões inexistentes entre jogadores [15]. Ievoli, Palazzo e Rago (2021), por sua vez, estudaram as Redes de Passes como indicadores no resultado final de partidas [16]. Ainda, McClean et al. (2018), propuseram análises com uso de Análise de Redes Sociais e Análise Notacional das Redes de Passes de gol marcados durante o torneio de nações europeus de 2016 [17]. Outros estudos da temática foram realizados, contudo nenhum parecia abordar exatamente o proposto no presente trabalho.

Nesse sentido, buscando abordar trabalhos com estratégias sobre busca de caminhos mais curtos em grafos ponderados direcionados. Nesse sentido, a literatura faz uso de diversos tipos de algoritmos, como mencionado por Cormen, Leiserson e Rivest (2009) os algoritmos podem possuir abordagens Gulosas como adaptações do algoritmo de Dijkstra para grafos direcionados e com base em programação dinâmica como o algoritmo de Floyd-Warshall [18]. Ainda, há possibilidade do uso do algoritmo de Bellman-Ford que apresenta um tempo de execução maior que o algoritmo de Dijkstra mas não apresenta limitações com relação a arestas de pesos negativos [18].

Com relação a complexidade dos algoritmos mencionados, temos o de Bellman-Ford com $O(V \times E)$, de Dijkstra com $O(V^2)$ na sua implementação comum e com $O(V + E \times \log V)$ na sua implementação com uma fila de prioridade, por fim, temos o algoritmo de Floyd-Warshall com $O(V^3)$ para encontrar o caminho

mais curto entre todos os pares de vértices do Grafo (Abdelnabi, 2022)[19].

5.2. Casos de Teste

Para a obtenção dos casos de testes, são necessários dados de eventos que ocorrem em partidas de futebol, mais especificamente, dados de passes realizados por cada um dos jogadores das equipes participantes. Tais dados, geralmente, são pagos e fornecidos por plataformas como StatsBomb [20].

Apesar disso, a plataforma do StatsBomb fornece dados de amostra grátis [21]. No diretório de dados de eventos de partida, encontramos dados de mais de 1000 partidas distintas que podem ser utilizados como casos de teste para o trabalho.



Figura 8: Logo do StatsBomb. Fonte: StatsBomb[20]

5.3. Links Relacionados

Algumas produções interessantes ao trabalho apresentado foram listadas abaixo.

- Bayern Munich vs Barcelona: passing network analysis

Uma análise sobre uma partida entre Barcelona e Bayern Munich em abril de 2013 pela Uefa Champions League com o uso de Redes de Passes.

- How did Ajax dominate Real Madrid?

Outra análise, desta vez mais recente, de uma partida de Uefa Champions League que se apoia no uso e análise de Redes de Passe. A partida foi realizada em fevereiro de 2019 entre Real Madrid e AFC Ajax.

- Types of Shortest Path Algorithms

Artigo que relata os tipos de algoritmos para a busca de caminhos mais curtos e cita exemplos de algoritmos para essa atividade.

- StatsBomb Open Data

Repositório de dados abertos do StatsBomb que foram utilizados durante a produção do presente trabalho.

- Shortest path in a directed graph by Dijkstra's algorithm

Artigo sobre o uso do algoritmo de Dijkstra em Grafos direcionados ponderados para o encontro de Caminhos Mais Curtos.

- Dijkstra Algorithm — Example — Time Complexity

Artigo Com exemplo detalhado do uso do algoritmo de Dijkstra em Grafos direcionados ponderados para busca de Caminhos Mais Curtos.

6. Proposta de Abordagem Algorítmica

O algoritmo escolhido para a execução da busca foi o de Dijkstra, pois este é o algoritmo de menor complexidade dentre os mencionados e sua limitação com arestas de pesos negativos não é um problema com os dados de passes que são sempre positivos.

Desse modo, o pseudocódigo abaixo busca propor uma abordagem algorítmica com base no algoritmo de Dijkstra para a solução do problema proposto no trabalho.

```

para cada jogador em jogadores:
    distancia[jogador] = Infinito
    anterior[jogador] = Nulo
    adiciona jogador em fila_jogadores

dist[goleiro] = 0
anterior[goleiro] = -1

enquanto fila_jogadores != vazio:
    v_minimo = min(jogador em distancia)

    se v_minimo == atacante:
        caminho = []
        enquanto v_minimo != goleiro faca:
            caminho adiciona v_minimo
            v_minimo = anterior[v_minimo]
        retorne caminho

    fila_jogadores remove v_minimo

para cada (jogador sucessor de v_minimo e
    jogador em fila_jogadores):
    auxiliar = (distancia[v_minimo] +
        valor_arco(v_minimo, jogador))
    se auxiliar < distancia[jogador]:
        distancia[jogador] = auxiliar
        anterior[jogador] = v_minimo

retorne []

```

Após sua implementação, utilizando a Linguagem de Programação Python, o código ficou como apresentado na imagem abaixo.

```
def dijkstra(players_names, mat_adjac, nome_goleiro, nome_atacante):
    distancia = {}
    anterior = {}
    fila_jogadores = []
    for nome in players_names:
        distancia[nome] = 91
        anterior[nome] = None
        fila_jogadores.append(nome)

    distancia[nome_goleiro] = 0
    anterior[nome_goleiro] = 0

    while (fila_jogadores):
        v_minimo = get_v_minimo(fila_jogadores, distancia)

        if v_minimo == nome_atacante:
            caminho = []
            while (v_minimo != nome_goleiro):
                caminho.append(v_minimo)
                v_minimo = anterior[v_minimo]
            caminho.append(v_minimo)
            return caminho[::-1]

        fila_jogadores.remove(v_minimo)
        for jogador in return_successors(players_names, mat_adjac, v_minimo):
            if (jogador in fila_jogadores):
                dist_caminho = (distancia[v_minimo] +
                               get_edge_weight(v_minimo, jogador, mat_adjac,
                                                players_names))
                if (dist_caminho < distancia[jogador]):
                    distancia[jogador] = dist_caminho
                    anterior[jogador] = v_minimo
```

Figura 9: Código de implementação do algoritmo de Dijkstra. Fonte: Própria

Note que no decorrer do programa são utilizadas funções auxiliares que ajudam em pequenas tarefas, como obter o número de sucessores ou obter o vetor com caminho mínimo entre os que estão na fila de jogadores.

Portanto, a implementação realizada poderia ser melhorada com o uso de estruturas de dados que poderiam diminuir a execução de sub-rotinas de iteração sobre dados. Contudo, vale mencionar que tais valores não têm demasiada relevância considerando o conjunto de dados do problema proposto, pois este se limita a um número de vértices de 11 (representando os jogadores), logo, sua complexidade é constante de $O(1)$.

7. Resultados Obtidos

Para a realizar a execução dos testes foi feito o uso da base de dados proposta anteriormente [21], tais dados, foram baixados tratados e depois usados no cálculo do caminho mais curto, com o cálculo sendo realizado entre o Goleiro como *source* e algum Atacante como *target*.

Os testes foram executados em uma máquina fornecida pelo Google Colab que tem as especificações de hardware apresentada nas figuras abaixo.

Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
overlay	116G	42G	75G	36%	/
tmpfs	68M	0	68M	0%	/dev
shm	6.2G	0	6.2G	0%	/dev/shm
/dev/root	2.1G	1.3G	851M	59%	/sbin/docker-init
tmpfs	6.9G	41k	6.9G	1%	/var/collab
/dev/sda1	87G	46G	42G	53%	/etc/hosts
tmpfs	6.9G	0	6.9G	0%	/proc/fs/epi
tmpfs	6.9G	0	6.9G	0%	/proc/scsi
tmpfs	6.9G	0	6.9G	0%	/sys/firmware

Figura 10: Informações de disco. Fonte: Própria

```
MemTotal: 13298580 kB
```

Figura 11: Informações de Memória. Fonte: Própria

```
Architecture: x86_64
CPU op-mode(s): 32-bit, 64-bit
Byte Order: Little Endian
CPU(s): 2
On-line CPU(s) list: 0,1
Thread(s) per core: 2
Core(s) per socket: 1
Socket(s): 1
NUMA node(s): 1
Vendor ID: GenuineIntel
CPU family: 6
Model: 79
Model name: Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz
Stepping: 0
CPU MHz: 2199.998
BogoMIPS: 4399.99
Hypervisor vendor: KVM
Virtualization type: full
L1d cache: 32K
L1i cache: 32K
L2 cache: 256K
L3 cache: 56320K
NUMA node0 CPU(s): 0,1
```

Figura 12: Informações de hardware. Fonte: Própria

Os testes foram executados em 24 arquivos de teste. A Tabela abaixo apresenta dados dos 22 primeiros arquivos de teste. A tabela apresenta dados da id do arquivo de teste, o caminho mais curto encontrado, a equipe em que o teste foi realizado (0 para a equipe de casa 1 para a equipe de fora), tempo total de

execução (tempo de download, tratamento e execução do algoritmo) e tempo de execução do algoritmo.

Obtemos uma média de tempo de execução de 0.00014664232730865479 segundos somente no algoritmo de Dijkstra e de 2.7132720947265625 na execução total, que mostra que o gargalo do tempo de execução se encontra no tempo de download e tratamento dos dados e não na execução do algoritmo de busca pelo caminho mais curto. Ademais, um valor de $6.165401168328971e-05$ foi obtido para o valor de desvio padrão das amostras de tempo do algoritmo, o que indica uma variação baixa nos valores obtidos nos testes.

8. Conclusão

O presente trabalho realizou um estudo sobre a temática de redes passes e de suas aplicabilidades em análises dentro do escopo das partidas de futebol, bem como possibilidades para a modelagem dessa no contexto de Teoria dos Grafos. Utilizando de um enfoque na análise do fluxo da bola pelo campo, foi relatada também a relevância da aplicação de técnicas de grafos para o estudo de caminhos de armação de jogadas.

Diante do proposto nas seções anteriores, é notável a relevância da análise a ser realizada para a aplicação da ciência no futebol. Ademais, é perceptível a aplicabilidade da situação nas ferramentas fornecidas pela Teoria de Grafos.

Ademais, com o uso de algoritmos como o de Dijkstra para a análise desse tipo de rede é notável que é possível obter mais uma métrica a partir dessa modelagem de dados de partidas de futebol. Tal métrica pode ser utilizada para análise de Build-ups o que é essencial para o estudo tático das partidas do esporte. Em outra análise, pode se ponderar que a partir dos resultados obtidos é notável que o baixo e constante número de vértices nas amostras foram obtidos baixos tempos de execução. Isto ocorreu apesar da implementação pouco otimizada do algoritmo de Dijkstra.

Por fim, cabe mencionar ainda que os dados abertos disponibilizados pelo StatsBomb foram imprescindíveis à realização do trabalho, pois sem estes não

	Ids Arquivos de Teste	Caminho Mais Curto	Equipe	Tempo Total	Tempo Dijkstra
0	15946	[Stegen, Bernabéu, Carnicer, Cuccittini]	0	1.93E+00	1.80E-04
1	15946	[Flores, Sánchez, Pozuelo]	1	2.95E+00	1.02E-04
2	15956	[López, Pedreño]	0	2.50E+00	9.42E-05
3	15956	[Stegen, Bernabéu, Carnicer, Cuccittini, Díaz]	1	2.50E+00	2.11E-04
4	15973	[Stegen, Bernabéu, Carnicer, Díaz]	0	3.78E+00	2.01E-04
5	15973	[Werner, Longo]	1	4.19E+00	7.72E-05
6	15978	[Rulli, López]	0	2.58E+00	9.49E-05
7	15978	[Stegen, Ramos, Díaz]	1	2.50E+00	2.03E-04
8	15986	[Stegen, Bernabéu, Díaz]	0	2.97E+00	1.74E-04
9	15986	[Bounou, López, Curbelo]	1	2.78E+00	8.99E-05
10	15998	[Sacristán, En-Nesyri]	0	2.27E+00	6.32E-05
11	15998	[Stegen, Bernabéu, Carnicer, Mohamed]	1	2.25E+00	2.03E-04
12	16010	[Stegen, Rakitić, Díaz]	0	2.12E+00	2.31E-04
13	16010	[Mendibil, Escudero, Arthuer]	1	2.27E+00	8.65E-05
14	16023	[Neto, Gameiro]	0	2.72E+00	1.07E-04
15	16023	[Stegen, Vermaelen, Ramos, Díaz]	1	2.63E+00	1.98E-04
16	16029	[Stegen, Díaz]	0	2.10E+00	9.63E-05
17	16029	[Vaclík, Silva, Yedder]	1	2.08E+00	9.49E-05
18	16056	[Stegen, Díaz]	0	2.56E+00	5.65E-05
19	16056	[Sabata, Rodríguez]	1	2.66E+00	9.73E-05
20	16073	[Oblak, Costa]	0	2.25E+00	5.53E-05
21	16073	[Stegen, Umtiti, Ramos, Díaz]	1	2.33E+00	1.96E-04
22	16079	[Stegen, Semedo, Dembélé, Cuccittini]	0	4.30E+00	1.60E-04
23	16079	[Andrés, Martínez, Balaguero]	1	4.31E+00	1.71E-04
24	16086	[Rodríguez, Junqué, Mata, Quintas]	0	2.76E+00	1.96E-04
25	16086	[Stegen, Semedo, Díaz]	1	2.45E+00	1.89E-04
26	16095	[Paredes, Nogales, Salgueiro, Boateng]	0	2.22E+00	1.90E-04
27	16095	[Stegen, Dembélé, Cuccittini]	1	2.25E+00	1.80E-04
28	16109	[Stegen, Semedo, Rakitić, Díaz]	0	2.64E+00	1.84E-04
29	16109	[Veiga, González]	1	2.39E+00	1.63E-04
30	16120	[Solís, Arnaiz]	0	2.59E+00	5.22E-05
31	16120	[Stegen, Lenglet, Ramos, Díaz]	1	2.58E+00	2.01E-04
32	16131	[Stegen, Ramos, Díaz]	0	2.51E+00	1.87E-04
33	16131	[Unamuno, Ametller]	1	2.59E+00	7.56E-05
34	16136	[Stegen, Ramos, Díaz]	0	2.40E+00	2.00E-04
35	16136	[Sacristán, Christensen]	1	2.26E+00	7.58E-05
36	16149	[Bounou, Curbelo]	0	2.34E+00	1.39E-04
37	16149	[Stegen, Díaz]	1	2.31E+00	5.58E-05
38	16157	[Stegen, Vermaelen, Carnicer, Díaz]	0	2.54E+00	2.03E-04
39	16157	[Neto, Gameiro]	1	2.66E+00	1.61E-04
40	16173	[Buisán, Arthuer]	0	3.73E+00	8.96E-05
41	16173	[Stegen, Díaz]	1	3.80E+00	1.79E-04
42	16182	[Stegen, Bernabéu, Carnicer, Boateng]	0	2.64E+00	2.08E-04
43	16182	[López, Navarro]	1	2.69E+00	1.71E-04

Tabela 1: Dados de casos de teste

teríamos dados reais para testes ou modelagem da estrutura da rede de passes.

Referências

- [1] B. Drust, M. Green, Science and football: evaluating the influence of science on performance, *Journal of Sports Sciences* 31 (13) (2013) 1377–1382. doi: 10.1080/02640414.2013.828544.
- [2] S. Caicedo-Parada, C. Lago-Peñas, E. Ortega-Toro, Passing networks and tactical action in football: A systematic review, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (18). doi:10.3390/ijerph17186649.
- [3] UtdArena, Pitch map of all daley blind passes (red) and carries (grey) this season (Feb 2022).
URL <https://twitter.com/UtdArena/status/1494270911326920711>
- [4] Build-up.
URL <https://alvin-almazov.com/soccer-eng/build-up/>
- [5] C. Suhre, Tática no futebol - o que realmente É tática dentro do futebol? (Nov 2021).
URL <https://www.cienciadabola.com.br/blog/o-que-e-tatica-no-futebol>
- [6] R. Costa, 4-2-4: O segredo contra o wm da europa ocidental (Aug 2020).
URL <https://www.futebolnaveia.com.br/4-2-4-o-segredo-contr-o-wm-da-europa-ocidental/>
- [7] Formations in football – the development from 1-1-8 to 3-5-2.
URL <https://www.footballhistory.org/formations.html>
- [8] Ballon d’or winners: Historical trends - the stats zone (2017).
URL <https://www.thestatszone.com/archive/ballon-dor-winners-historical-trends-ronaldo-messi-13632>

- [9] Sporting cp 1 - 5 ajax - champions league 2021/2022 live.
URL <https://1xbet.whoscored.com/Matches/1592126/Live/Europe-Champions-League-2021-2022-Sporting-CP-Ajax>
- [10] Ajax 5 - 0 sc heerenveen - eredivisie 2021/2022 live.
URL <https://1xbet.whoscored.com/Matches/1546180/Live/Netherlands-Eredivisie-2021-2022-Ajax-SC-Heerenveen>
- [11] Valuing football players' passes by leveraging event sequences (Nov 2018).
URL www.scisports.com/valuing-football-players-passes-by-leveraging-event-sequences
- [12] J. M. Buldú, J. Busquets, J. H. Martínez, J. L. Herrera-Diestra, I. Eche-
goyen, J. Galeano, J. Luque, Using network science to analyse football
passing networks: Dynamics, space, time, and the multilayer nature of the
game, *Frontiers in Psychology* 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.01900.
- [13] B. Gonçalves, D. Coutinho, S. Santos, C. Lago-Penas, S. Jiménez, J. Sam-
paio, Exploring team passing networks and player movement dynamics
in youth association football, *PLOS ONE* 12 (1) (2017) e0171156. doi:
10.1371/journal.pone.0171156.
- [14] J. Mullenberg, passing network ajax - fortuna sittard 25-09-2019 (Sep
2019).
URL www.twitter.com/jan_mullenberg/status/1177187277799415808
- [15] S. Mclean, P. M. Salmon, The weakest link: a novel use of network analysis
for the broken passing links in football, *Science and Medicine in Football*
3 (3) (2019) 255–258. doi:10.1080/24733938.2018.1562277.
URL <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1562277>
- [16] R. Ievoli, L. Palazzo, G. Ragozini, On the use of passing network indicators
to predict football outcomes, *Knowledge-Based Systems* 222 (2021) 106997.
doi:10.1016/j.knosys.2021.106997.
URL <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106997>

- [17] S. Mclean, P. M. Salmon, A. D. Gorman, N. J. Stevens, C. Solomon, A social network analysis of the goal scoring passing networks of the 2016 european football championships, *Human Movement Science* 57 (2018) 400–408. doi:10.1016/j.humov.2017.10.001.
URL <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.001>
- [18] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, *Introduction to Algorithms*, 3rd Edition, The MIT Press, MIT Press, London, England, 2009.
- [19] O. Abdelnabi, *Shortest path algorithms* (2022).
URL <https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/shortest-path-algorithms/tutorial/>
- [20] Soccer data: Best soccer event data (May 2022).
URL <https://statsbomb.com/what-we-do/soccer-data/>
- [21] Statsbomb/open-data: Free football data from statsbomb (May 2022).
URL <https://github.com/statsbomb/open-data>