57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Deslocamento de Espectadores e Impacto Ambiental: Um Estudo de Caso sobre Transporte Público e Individual nas Olimpíadas de Paris 2024

Almir Monteiro
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro
amonteirojr@cos.ufrj.br

Amanda Ferreira de Azevedo
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro
afazevedo@cos.ufrj.br

Glauco Fiorott Amorim
Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca - CEFET-RJ
glauco.amorim@cefet-rj.br

Vanessa de Almeida Guimarães
Instituto COPPEAD de Administração
Universidade Federal do Rio de Janeiro
vanessa.guimaraes@coppead.ufrj.br

Pedro Henrique González
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro
pegonzalez@cos.ufrj.br

RESUMO

A urgência na implementação de ações para mitigar a mudança climática pressiona organizadores de grandes eventos globais a repensarem sua pegada de carbono. Eventos como os Jogos Olímpicos e a Copa do Mundo empregam atividades de transporte - muitas vezes, intensas em carbono - tanto para atletas e espectadores, quanto para a movimentação de materiais de apoio. Tendo em vista que os espectadores desejam assistir a diferentes atividades e precisam se deslocar para os pontos de competição, torna-se necessário compreender a pegada de carbono associada a tais deslocamentos. Este trabalho visa analisar o impacto, do ponto de vista ambiental, do deslocamento de espectadores entre diversas sessões esportivas dos Jogos Olímpicos de Paris 2024. Os resultados demonstram que, ao adotar o transporte público, pode-se reduzir as emissões em até 87,58%, comparado à mesma rota percorrida por um carro. Além disso, há uma redução de 16,11% no tempo total de viagem.

PALAVRAS CHAVE. Meio Ambiente, Olimpíadas, Transporte Público.

AG&MA – PO na Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade, ESP – PO em Esportes

ABSTRACT

The urgency to implement actions to mitigate climate change pressures organizers of major global events to reconsider their carbon footprint. Events such as the Olympic Games and the World Cup involve transportation activities — often carbon-intensive — for athletes, spectators, and the movement of support materials. Given that spectators wish to attend different activities and need to travel to competition venues, it becomes necessary to understand the carbon footprint associated with such movements. This study aims to analyze the environmental impact of spectator

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

travel between various sports sessions at the Paris 2024 Olympic Games. The results demonstrate that adopting public transportation can reduce emissions by up to 87.58% compared to the same route traveled by car. Additionally, there is a 16.11% reduction in total travel time.

KEYWORDS. Environment, Olympics, Public Transport.

AG&MA – OR in Agriculture, Environment and Sustainability, ESP - OR in Sports

1. Introdução

À medida que os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais evidentes, cresce a urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), em especial o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), que contribuem significativamente para o aquecimento do planeta. A Organização das Nações Unidas (ONU) determinou como um de seus objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) a "Ação contra a mudança global do clima". Em seu objetivo 13, a ONU define que, até 2030, deve-se "Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos" [Organização das Nações Unidas, 2015].

Neste sentido, cresce o engajamento de entidades públicas e privadas para reduzir sua "pegada de carbono", termo utilizado para se referir às emissões de GEE relacionadas a determinada atividade realizada. Logo, dada a importância do tema, esta preocupação se estende a grandes eventos globais, como festivais e eventos esportivos. Ainda em 2014, ou seja, mesmo antes da definição das ODS da ONU, o Comitê Olímpico Internacional (COI) já definia a "Agenda Olímpica 2020", pautada em três pilares: Credibilidade, Sustentabilidade e Juventude. Especificamente em relação à sustentabilidade, dois objetivos se destacavam: "Incluir a sustentabilidade em todos os aspectos dos Jogos Olímpicos" e "Incluir a sustentabilidade nas operações diárias do Movimento Olímpico" [Comitê Olímpico Internacional, 2014]. Em seu relatório final, apresentado em 2021, o COI definiu o primeiro objetivo citado como "Cumprido em Grande Parte", exemplificando ações realizadas, sobretudo parcerias com entidades internacionais, como a Organização Mundial da Saúde e a União Internacional para a Conservação da Natureza. Contudo, destacam que ações ainda estão em desenvolvimento, como a consolidação do uso das arenas após os Jogos. Em relação ao segundo objetivo, que foi declarado como "Cumprido", o COI aponta que incluiu a sustentabilidade em suas operações diárias, justificando que sua nova sede, inaugurada em 2019, é uma das construções mais sustentáveis do mundo. Além disso, o Comitê afirma que é uma organização neutra em carbono, fruto de diversas medidas, como medição sistemática de suas emissões de CO_2 desde 2016 e alterações em suas políticas de viagens. O relatório aponta ainda que, a partir de Paris 2024 e Los Angeles 2028, as estratégias de sustentabilidade definidas pelo comitê foram incorporadas às propostas de sustentabilidade das candidaturas das cidades-sede.

Por ser a primeira sede alinhada com os objetivos de sustentabilidade do COI, Paris 2024 buscou ser mais sustentável do que as edições anteriores. Especificamente em relação às emissões de carbono, por exemplo, os organizadores se comprometeram a reduzir pela metade as emissões dos Jogos do Rio (em 2016) e de Londres (em 2012). Em posterior relatório, os organizadores declararam ter alcançado a redução de 54,6% em relação às emissões médias de Londres 2012 e Rio 2016. Destaca-se que a categoria "Viagens" foi responsável por mais de 50% deste total, enquanto a estimativa inicial era de representar apenas um terço do valor total das emissões [Paris 2024, 2024a].

Os dados apresentados demonstram a magnitude e o impacto que os deslocamentos podem ter em relação à pegada de carbono de grandes eventos. Dessa forma, este trabalho visa avaliar

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

alternativas de transporte público ao longo de uma rota previamente otimizada, construída para maximizar a presença de um espectador em sessões esportivas dos Jogos Olímpicos de Paris 2024, considerando restrições de orçamento e a programação oficial das competições. Para cada trecho desta rota, o deslocamento por automóvel próprio é comparado a alternativas que utilizam o transporte público disponível na região dos Jogos, com o intuito de avaliar se é possível que esta troca seja feita e quais os seus impactos, levando em conta distâncias percorridas, tempo gasto, emissões de GEE e compatibilidade de horários com as sessões previamente definidas pelo modelo matemático. Este estudo é importante para avaliar o quanto os esforços empreendidos para a adoção de meios de transporte mais "verdes", principalmente em eventos de grande porte, como os Jogos Olímpicos, impactam na redução de GEE e o quanto a adoção dessas medidas afeta a experiência do espectador em seu deslocamento entre as sessões.

Além desta seção introdutória, este trabalho apresenta trabalhos relacionados, na Seção 2, a metodologia utilizada, na Seção 3, o estudo de caso, na Seção 4, as análises realizadas e seus resultados, na Seção 5 e, por fim, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros, na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta os principais estudos da literatura que se relacionam com a abordagem proposta neste trabalho. Em seu estudo, Dosumu et al. [2017] abordaram as emissões geradas pelo deslocamento de torcedores de futebol na Inglaterra em partidas de oito diferentes níveis do futebol local, abrangendo de competições nacionais, nos primeiros níveis, a competições regionais, nos níveis inferiores. Os autores destacam que há diferenças significativas entre as diferentes divisões, no que diz respeito à emissão de GEE. Este fato ocorre pelas distâncias maiores entre os clubes nos níveis superiores, assim como pelo número maior de torcedores que esses clubes mais próximos da elite costumam reunir.

De forma similar, Khanna et al. [2024] abordaram a pegada de carbono gerada por um clube de futebol, com o intuito de promover a redução de emissões de GEE em suas atividades em geral. O estudo apontou que as emissões indiretas produzidas pelo transporte de torcedores correspondem a 38% do total, seguido pelo consumo de energia, com 25% no caso estudado. Os autores então indicam uma série de ações que podem ser tomadas pelo clube, como a escolha de provedores de energia que fazem uso de fontes renováveis e ações com os torcedores para compensar emissões indispensáveis, como em viagens para jogos fora de casa, por exemplo.

Em um contexto diferente, Jäckle [2021] analisa o impacto, em termos de pegada de carbono, de transformar um congresso acadêmico presencial em online. O estudo mostra que a pegada de carbono do evento virtual seria de 97 a 200 vezes menor do que se o evento tivesse sido realizado de forma presencial. De forma similar, Pinheiro Tóffano Pereira e Galo [2024] analisam as emissões de GEE que as diferentes alternativas de deslocamento de um congressista entre duas capitais brasileiras, Goiânia e Rio de Janeiro, geram. Por meio de sua pesquisa, os autores demonstram que um deslocamento feito por ônibus gera apenas 20% das emissões de GEE de uma viagem de avião com escalas. Por outro lado, realizar o percurso através de um carro movido a gasolina emite uma quantidade de GEE próxima à de um voo sem escalas entre as cidades, significativamente mais altas do que as emissões de um carro movido a etanol. Isto evidencia, segundo os autores, que a escolha do transporte utilizado por participantes de eventos contribui de maneira efetiva para a redução dos níveis de GEE lançados na atmosfera.

O contexto apresentado reforça a crescente preocupação da comunidade internacional com a mitigação de GEE oriundos das atividades de transportes voltadas para eventos globais de diferentes portes. Assim, acredita-se que o presente estudo pode contribuir para reflexões sobre esta temática, que conduzam a um planejamento mais verde de futuros eventos.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

3. Metodologia

Esta seção detalha a metodologia empregada neste estudo. Primeiramente, com base no modelo apresentado por Azevedo et al. [2024], os trechos de uma rota ótima entre sessões dos Jogos Olímpicos de Paris, em 2024, baseados em tempo e disponibilidade de recursos financeiros, foram recuperados. Posteriormente, cada um destes trechos foi investigado do ponto de vista das emissões de CO_2 equivalente geradas pelo deslocamento de espectadores entre os locais de competição. O CO_2 equivalente é uma medida comumente utilizada para se contabilizar as emissões de diferentes GEEs, com base em seu potencial de aquecimento [IPAM Amazônia, 2025].

Inicialmente, as emissões de GEE do deslocamento por carro movido a combustível fóssil são avaliadas, assim como distâncias e tempos de viagem. Posteriormente, rotas alternativas, através do uso de transporte público, são recuperadas e comparadas às rotas realizadas por carro, com base nas mesmas métricas. Além disso, realiza-se a verificação do impacto desta mudança no número de sessões esportivas da rota ótima inicial, dado que pode haver o aumento do tempo de deslocamento entre as arenas.

Em seu trabalho, Azevedo et al. [2024] apresentam um modelo para otimizar a rota entre diversas sessões dos Jogos Olímpicos de Paris 2024, visando maximizar a participação do espectador no evento, com base em restrições de tempo (deslocamento e agenda das sessões esportivas) e orçamento. Os autores modelaram este complexo problema como um problema de otimização de fluxo de rede, considerando um grafo direcionado $G = (V, A)$, onde V é o conjunto dos vértices, representando cada sessão dos Jogos, e A é o conjunto dos arcos, representando os deslocamentos entre as sessões. Cada evento $i \in V$ é definido pelo seu horário de início t_i^{start} e de encerramento t_i^{end}, onde $t_i^{\text{end}} = t_i^{\text{start}} + \text{duration}_i$, sendo duration_i a representação da duração da sessão em minutos. Desta forma, t_i^{start} é o minuto pertencente à linha do tempo dos Jogos Olímpicos onde a sessão i começa.

Cada evento possui um custo de ingresso associado c_i. Da mesma forma, há um custo médio de deslocamento por minuto c_{ij} para o arco $(i, j) \in A$. O custo total de deslocamento entre as sessões i e j é determinado por $c_{ij} \times t_{ij}$, onde t_{ij} é o tempo de deslocamento em minutos entre duas sessões. Os espectadores, por sua vez, possuem um orçamento B, tratado como um limitante superior dos custos totais, que devem cobrir tanto a compra dos ingressos quanto os custos de deslocamento. Em complemento aos custos, cada sessão $i \in V$ pode possuir um grau de preferência p_i, refletindo o nível de interesse que um espectador tem naquela sessão. Considere que x_{ij} seja uma variável de decisão binária para o arco $(i, j) \in A$, onde $x_{ij} = 1$ se um espectador se desloca da sessão i para a sessão j, sendo $x_{ij} = 0$ em caso contrário. Da mesma forma, considere que w_i seja uma variável de decisão binária para o vértice $i \in V$, onde $w_i = 1$ se um espectador comparece à sessão i, sendo $w_i = 0$ em caso contrário.

Com base nestas definições, o problema de otimização pode ser modelado da seguinte forma:

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

$$\text{Maximize} \quad Z = \sum_{i \in V} p_i w_i \tag{1}$$

$$\text{sujeito a} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij} = w_i, \quad \forall i \in V \setminus \{n+1\} \tag{2}$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{j\}} x_{ij} = w_j, \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \tag{3}$$

$$\sum_{i \in V} x_{0i} = 1 \tag{4}$$

$$\sum_{i \in V} x_{i(n+1)} = 1 \tag{5}$$

$$t_i^{\text{end}} + t_{ij} - M_{ij}(1 - x_{ij}) \leq t_j^{\text{start}}, \quad \forall i, j \in V, i \neq j \tag{6}$$

$$\sum_{i \in V} c_i w_i + \sum_{j \in V} x_{ij} c_{ij} t_{ij} \leq B \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A \tag{8}$$

$$w_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in V \tag{9}$$

onde

$$M_{ij} = \max\{0, t_i^{\text{end}} + t_{ij} - t_j^{\text{start}}\} \tag{10}$$

A Função Objetivo (1) visa maximizar a preferência total, priorizando eventos indicados com um maior nível de preferência. As restrições (2) e (3) garantem as transições lógicas entre os eventos assistidos. Por sua vez, as restrições (4) e (5) garantem o início e o término do fluxo entre os eventos. A família de restrições (6) garante transições viáveis entre os eventos, permitindo o deslocamento do evento i ao evento j apenas se houver tempo suficiente entre o fim do evento i e o início do evento j, considerando o tempo de deslocamento t_{ij}. A restrição de orçamento (7) limita o gasto total em ingressos e custos de deslocamento. Por fim, as restrições (8) e (9) determinam que as variáveis de decisão x_{ij} e w_i sejam binárias.

Embora considere cenários diversos, levando em conta informações como grau de preferência e orçamento disponível, o estudo realizado por Azevedo et al. [2024] considera que o deslocamento é realizado apenas através da utilização de rotas rodoviárias, com carros. Este estudo, portanto, complementa o trabalho anterior, ao avaliar o resultado retornado pelo modelo de otimização sob a ótica ambiental. Análises sobre a pegada de carbono da operação de transporte da rota ótima sugerida são realizadas, tanto na forma de deslocamento anterior, por carro, quanto pela sugestão de alternativas por meio de transporte público.

4. Estudo de Caso

Nesta seção, detalha-se o estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa, desde a escolha do evento, passando pelas premissas assumidas e coleta e processamento de dados.

Os Jogos Olímpicos de Paris 2024, a 33ª Olimpíada da era moderna, foram escolhidos para esta análise. A escolha se justifica por ser um evento de grande porte, que reúne espectadores de todo o mundo, além de serem os primeiros Jogos Olímpicos que tiveram a premissa da sustentabilidade desde a formatação da sua candidatura, guiada pelas novas metas definidas pelo COI [Paris 2024, 2024a].

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

Com mais de 10 mil vagas para atletas e 32 diferentes modalidades, os Jogos Olímpicos de Paris venderam mais de 9,5 milhões de ingressos. Além disso, mais de 7,5 milhões de pessoas visitaram as zonas de fãs no território francês [Paris 2024, 2024b]. Este número de indivíduos se deslocando por diferentes zonas da cidade se apresenta como um desafio para a organização do evento, que tinha como objetivo reduzir as emissões de GEE em comparação com os Jogos de Londres, em 2012, e do Rio, em 2016. Cabe salientar que os últimos Jogos, em Tóquio, ocorreram basicamente sem público, devido às restrições da pandemia do Novo Coronavírus. Portanto, optar por alternativas de transporte público - especialmente aquelas de maior capacidade - em substituição ao transporte individual motorizado pode ser uma estratégia para reduzir as emissões dos GEE advindos das atividades de transporte. Sendo assim, este trabalho visa avaliar, com base em cada trecho da rota ótima proposta pelo modelo matemático, alternativas utilizando o transporte público disponível e o seu impacto na redução das emissões de GEE durante o deslocamento dos espectadores.

4.1. Premissas do Estudo de Caso

Para a execução dos experimentos e posterior análise, algumas premissas devem ser assumidas. Em relação ao perfil do espectador e seu orçamento disponível, foi definido o indivíduo europeu apresentado por Azevedo et al. [2024], com um orçamento disponível de 1969,28 euros. Esta decisão se justifica por ser o cidadão deste continente o que responde pela maior parcela dos espectadores presentes nos Jogos de Paris. De acordo com dados divulgados pelo comitê organizador dos Jogos, a população europeia foi responsável por 92% do total de espectadores do evento, sendo 72,5% de cidadãos franceses e 19,5% de cidadãos de outros locais da Europa [Paris 2024, 2024a].

Cabe destacar que o modelo utilizado permite definir níveis de preferência distintos para cada modalidade esportiva, em cinco níveis que variam de “Muito Desinteressado” a “Muito Interessado”. Para este estudo, todas as preferências foram definidas como “neutras”, ou seja, não houve priorização ou desprezo a nenhuma modalidade esportiva.

Em relação às alternativas de transporte público, considerou-se que sempre havia disponibilidade de veículos ao término de cada sessão. Para o cálculo das distâncias percorridas, as velocidades médias de cada veículo foram definidas com base nos valores da Tabela 1.

Veículo	Velocidade Média
Metrô	25 Km/h
TGV	279 Km/h
VLT	25 Km/h
Trem Regional	105 Km/h
Ônibus Rodoviário	60 Km/h
Ônibus Local	30 Km/h
Táxi	30 Km/h

Tabela 1: Velocidades médias consideradas para cada veículo disponível [Grand Paris Express, 2025; Railway Gazette, 2007; Enef Cities, 2023; Funet, 2025; LegiFrance, 2025; European Transport Safety Council, 2025]

Estes dados foram utilizados para calcular as quantidades de CO_2 equivalente liberadas na atmosfera em cada trecho do percurso realizado pelas diferentes alternativas de transporte. Com base na velocidade média de cada veículo e no tempo de viagem apresentado pela plataforma *Rome2Rio*[1], foi possível calcular as distâncias percorridas e, assim, avaliar as quantidades de CO_2

[1] http://rome2rio.com/

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

equivalente emitidas por passageiro por quilômetro, segundo dados da Agência para a Transição Ecológica Francesa (ADEME) [CO2 Impact, 2025].

4.2. Alternativas Públicas para Deslocamento e seu Impacto Ambiental

A região de Paris possui uma densa rede de transporte público. Linhas de VLT realizam a integração entre diversos pontos de interesse, sendo complementadas por linhas de metrô, ônibus e trens regionais. Por fim, para alcançar localidades mais distantes, como as sedes das competições de futebol, os espectadores têm à sua disposição o trem de alta velocidade TGV, além de linhas regulares de trens e ônibus intermunicipais. Apenas na região de Paris, existem 15 linhas de VLT, 18 de metrô e 14 de trens [RATP, 2025], além da estação mais movimentada da Europa, *Gare du Nord*. Em seu relatório, o Comitê Organizador dos Jogos de Paris destacou que cada uma de suas arenas estava coberta por ao menos um serviço de transporte público, além de ciclovias na região de Ile-de-France [Paris 2024, 2024a].

A respeito das emissões de GEE no deslocamento de espectadores, as alternativas de transporte públicos disponíveis se tornam protagonistas na meta de reduzir a pegada de carbono do evento, pois emitem quantidades significativamente menores do que uma viagem por carros movidos a combustível fóssil em sua operação. A Tabela 2 apresenta a média de emissão de cada uma das alternativas de transporte coletivo disponíveis, além de dados de emissões de veículos particulares/táxis e voos regionais.

Veículo	Emissão CO_2e por indivíduo
Trem TGV	2,93 g/Km
VLT	4,28 g/Km
Metrô	4,44 g/Km
Trem Regional	27,7 g/Km
Ônibus Rodoviário a Combustão	29,4 g/Km
Ônibus Local a Combustão	113 g/Km
Carro / Táxi a Combustão	218 g/Km
Voos Regionais	259 g/Km

Tabela 2: Emissões por meio de transporte. Fonte: CO2 Impact [2025]

4.3. Coleta e Processamento de Dados

Para a condução dos experimentos, foi necessário coletar e pré-processar os dados utilizados. Esta seção apresenta o detalhamento dessas etapas. Primeiramente, o modelo apresentado na Seção 3 foi executado, com as premissas definidas na Seção 4.1. A partir da rota ótima resultante desta execução, buscou-se trajetos alternativos para cada um dos trechos presentes na rota. Essas alternativas deveriam fazer uso exclusivamente de transporte público sempre que possível, sendo a única exceção o táxi, apenas como complemento pontual. A consulta por rotas alternativas ocorreu no site *Rome2Rio*. Esta plataforma permite a busca por rotas entre duas localidades quaisquer no globo terrestre, bastando que sejam informados os locais de origem e destino. Todas as opções de deslocamento de cada trecho foram registradas para posterior análise.

Após recuperar as opções de cada um dos trechos da rota ótima, foi necessário realizar um cálculo para verificar a distância de cada um dos deslocamentos, pois os resultados do *Rome2Rio* retornam apenas os tempos de cada viagem. Este cálculo é realizado de forma aproximada, com o tempo de viagem fornecido e a velocidade média do meio de transporte utilizado. Finalizada a conversão, pode-se descobrir a quantidade de GEE emitido, com base na distância encontrada e nos valores de emissão por quilômetro por passageiro, detalhados na Tabela 2. Logo, é possível consolidar as distâncias, tempos de deslocamento e emissões de CO_2 equivalente para cada alternativa

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

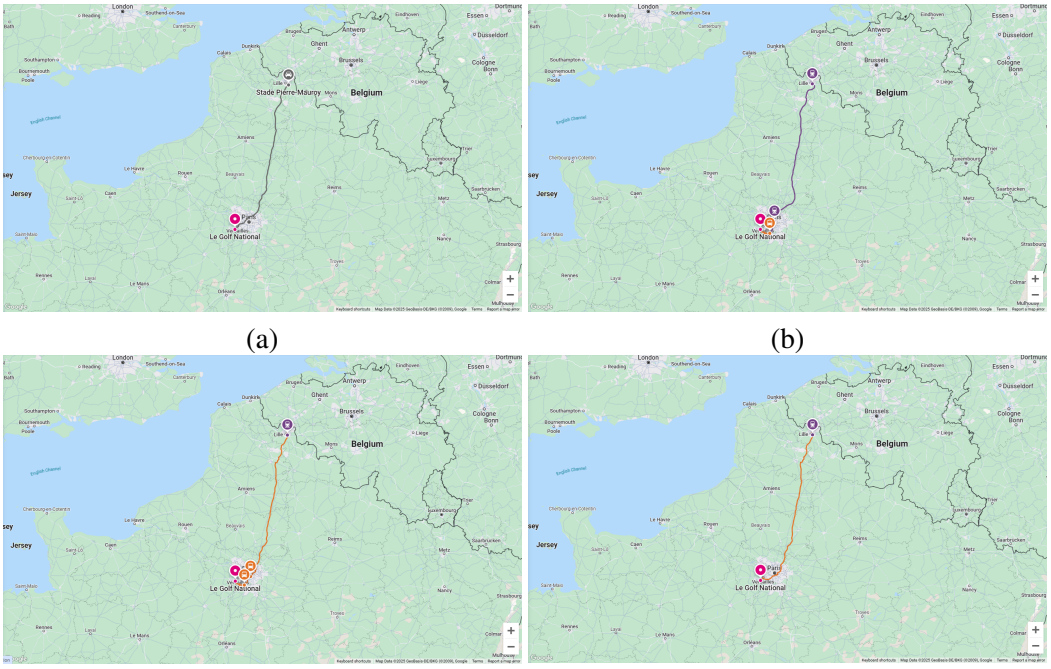


Figura 1: Exemplo da rota "padrão", por carro, e das rotas alternativas, como exibido no *Rome2Rio*. Em (a), o trajeto por carro, enquanto (b) mostra uma alternativa utilizando trem, TGV e ônibus local e (c) e (d) apresentam rotas com trem, ônibus rodoviário e local.

(e deslocamento original, por carro) de cada trecho da rota original. Dessa forma, os dados estão prontos para o processo de análise, onde serão comparados a partir de diversos parâmetros, como distância total, tempo de viagem e emissões de GEE.

5. Experimentos Computacionais

Nesta seção, analisa-se a rota obtida a partir do modelo de Azevedo et al. [2024], sob a ótica verde. Os experimentos computacionais foram executados em uma máquina equipada com um processador AMD Ryzen™ 5 5600G operando a 3.9 GHz e 32GB de memória RAM. Foi utilizado um ambiente Python 3.10 instalado no sistema operacional Windows 11, e o *solver* utilizado foi o SciPY. Primeiro, o deslocamento utilizando veículo próprio é apresentado, com sua respectiva emissão de CO_2 equivalente. Posteriormente, alternativas no deslocamento são avaliadas, comparando-se distância, tempo e as emissões produzidas por cada uma delas. A Figura 1 demonstra um exemplo da rota "padrão", utilizando carro, e das rotas alternativas, como exibidas no *Rome2Rio*.

Com base no modelo e nos dados fornecidos por Azevedo et al. [2024], foi possível traçar a rota ótima a ser percorrida por um espectador europeu que busca aproveitar ao máximo os Jogos, dentro de seu orçamento disponível. Com base em sua renda média mensal, o cidadão europeu teria €1969,28 de orçamento disponível [Azevedo et al., 2024], sendo possível comparecer a 34 eventos distintos, tanto na região de Paris quanto em cidades mais afastadas, onde ocorreram partidas de futebol, por exemplo. A Tabela 3 detalha as cidades e arenas que seriam visitadas, com o número de sessões esportivas que este espectador assistiria em cada uma delas.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

Arena	Cidade	Sessões
Geoffroy-Guichard Stadium	Saint-Étienne	2
Lyon Stadium	Lyon	2
North Paris Arena	Villepinte	17
Stade de France	Saint-Denis	2
Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1	Colombes	1
Pierre Mauroy Stadium	Lille	6
Golf National	Saint-Quentin-en-Yvelines	4

Tabela 3: Arenas, cidades e número de sessões esportivas presentes na rota ótima de um espectador europeu para assistir aos Jogos Olímpicos, com base em agenda e orçamento disponível

Contudo, devido à agenda dos eventos, um destino poderá ser visitado mais de uma vez. Logo, o deslocamento total chega a 1237,6 quilômetros, divididos em 9 viagens, detalhadas na Tabela 4.

#	Origem	Destino	Distância (Km)
1	Geoffroy-Guichard Stadium	Lyon Stadium	72,2
2	Lyon Stadium	Geoffroy-Guichard Stadium	72,2
3	Geoffroy-Guichard Stadium	Lyon Stadium	72,2
4	Lyon Stadium	North Paris Arena	494,2
5	North Paris Arena	Stade de France	16,6
6	Stade de France	North Paris Arena	16,7
7	North Paris Arena	Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1	26,0
8	Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1	Pierre Mauroy Stadium	218,9
9	Pierre Mauroy Stadium	Golf National	248,5

Tabela 4: Percurso de um espectador europeu para assistir ao maior número de eventos possíveis nos Jogos Olímpicos Paris 2024, com base na agenda das sessões e no seu orçamento disponível

Neste itinerário, três viagens atraem a atenção, por possuírem distâncias acima de 200 quilômetros. Do Lyon Stadium, em Lyon, para a North Paris Arena, em Villepinte (494 quilômetros); do Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1, em Colombes, próximo a Paris, para o Pierre Mauroy Stadium, em Lille (218 quilômetros); e do Pierre Mauroy Stadium para o Golf National, em Saint-Quentin-en-Yvelines, também próximo à capital francesa (248 quilômetros).

Ao considerar que todo o percurso seria realizado por meio de um carro movido a combustível fóssil, um único espectador geraria uma pegada de carbono, considerando apenas a operação do veículo, de aproximadamente 269,8 Kg de CO_2 equivalente. De acordo com os organizadores, quase 2,8 milhões de espectadores únicos compareceram aos Jogos. Logo, se 92% destes indivíduos realizassem este deslocamento pelo país, teríamos quase 2,6 milhões de espectadores, o que resultaria em uma pegada de carbono de 701.480 toneladas de CO_2 equivalente.

Segundo relatório apresentado após os Jogos, 1,59 milhão de toneladas de CO_2 equivalente foram geradas pelos Jogos de Paris em 2024. Deste total, 53% (842.700 toneladas) foi emitido por atividades de transporte. Ou seja, o total de emissão de CO_2 equivalente, se cada espectador europeu realizasse o trajeto apontado pelo modelo utilizando um veículo particular, seria bem próximo ao total gerado por todas as atividades de transporte do evento. Por outro lado, um espectador que realiza este mesmo percurso através de transporte público gera apenas 33,5 Kg de CO_2 equivalente, uma redução de 87,58%, levando em conta a opção de rota que gera a menor emissão de gases de efeito estufa.

Em relação ao tempo de deslocamento, o trajeto total, percorrido através de um carro à combustão, levaria em torno de 15 horas, enquanto a rota mais "verde", por transporte público, retorna um ganho de duas horas, levando 13 horas no total. Esta vantagem é alcançada pelos trechos

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

de longa distância, que são cobertos pelo trem de alta velocidade TGV. Este fato ocorre nas três maiores rotas destacadas anteriormente, compensando o aumento de tempo que ocorre nos outros trechos mais curtos. As diferenças em distância e tempo de cada trecho estão detalhadas na Tabela 5, com destaque para os trechos em que o tempo de deslocamento é menor quando o transporte público é utilizado. Por outro lado, a Tabela 6 exibe as diferenças nas emissões de CO_2 equivalente em cada trecho.

Trecho	Distância (quilômetros)			Tempo (minutos)		
	Carro	Transporte Público	Diferença	Carro	Transporte Público	Diferença
Geoffroy-Guichard Stadium x Lyon Stadium	72,2	89,9	17,7	63	77	14
Lyon Stadium x Geoffroy-Guichard Stadium	72,2	88,1	15,8	65	73	8
Geoffroy-Guichard Stadium x Lyon Stadium	72,2	89,9	17,7	63	77	14
Lyon Stadium x North Paris Arena	494,2	594,2	100	314	150	**-164**
North Paris Arena x Stade de France	16,6	35	18,4	19	20	1
Stade de France x North Paris Arena	16,7	35	18,3	19	20	1
North Paris Arena x Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1	26,0	75,25	49,3	27	43	16
Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1 x Pierre Mauroy Stadium	218,9	334,7	115,8	138	124	**-14**
Pierre Mauroy Stadium x Golf National	248,5	399,75	151,3	167	150	**-17**

Tabela 5: Diferenças de distância e tempo em cada trecho da rota ótima, comparando o deslocamento por carro e transporte público

Trecho	Emissões de CO_2 equivalente (Kg/Km por passageiro)		
	Carro	Transporte Público	Diferença
Geoffroy-Guichard Stadium x Lyon Stadium	15,74	4,46	-11,28
Lyon Stadium x Geoffroy-Guichard Stadium	15,75	4,24	-11,51
Geoffroy-Guichard Stadium x Lyon Stadium	15,74	4,46	-11,28
Lyon Stadium x North Paris Arena	107,74	4,2	-103,54
North Paris Arena x Stade de France	3,62	0,97	-2,65
Stade de France x North Paris Arena	3,63	0,97	-2,66
North Paris Arena x Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1	5,67	2,09	-3,58
Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1 x Pierre Mauroy Stadium	47,72	4,24	-43,48
Pierre Mauroy Stadium x Golf National	54,17	5,35	-48,82

Tabela 6: Diferenças de emissões de CO_2 equivalente em cada trecho da rota ótima, comparando o deslocamento por carro e transporte público

Pode-se verificar que, invariavelmente, a distância percorrida sofre aumento quando o trajeto por transporte público é considerado. Esta situação é esperada, dado que os veículos executam rotas pré-determinadas, visando atender à necessidade da região em que operam, sem necessariamente seguirem diretamente ao destino pelo caminho mais curto que um veículo particular seguiria. Este aumento chega a 189%, no deslocamento entre a North Paris Arena e o Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1. Em minutos, este mesmo trecho sofre um aumento de 59,26% em relação ao tempo original. Contudo, há considerável impacto também na emissão de gases de efeito estufa, onde ocorre uma queda de 63,14%.

Com o aumento do tempo de deslocamento, surge a preocupação em relação ao horário das sessões esportivas. Nesta rota ótima, o espectador tem a possibilidade de comparecer a 34 eventos esportivos diferentes, nas 7 arenas já apresentadas, em 16 dias de Jogos. O intervalo entre sessões em diferentes arenas varia de 50 minutos a dois dias. Portanto, um aumento expressivo do tempo de viagem pode inviabilizar a rota concebida previamente, sobretudo nestes intervalos mais ajustados. Contudo, a avaliação desta rota demonstra que nenhuma mudança para o uso de transporte público causou redução no número de eventos assistidos. Logo, nenhuma sessão esportiva seria sacrificada pelo espectador caso este decida por um deslocamento mais "verde".

Analisando especialmente o trecho com o menor intervalo de tempo entre sessões, um

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

espectador deveria sair de uma sessão na North Paris Arena e, em até 50 minutos, chegar ao Stade de France. De carro, este trajeto levaria 20 minutos. Ao utilizar o transporte público, mais especificamente o trem, o espectador aumentaria em apenas um minuto o seu tempo de deslocamento, chegando em tempo para a sessão, ao mesmo tempo em que reduz em 73,2% a emissão de CO_2 equivalente. Em números absolutos, o trecho em que ocorreu o maior acréscimo de tempo foi da North Paris Arena para o Yves-du-Manoir Stadium - Pitch 1, onde um espectador levaria 16 minutos a mais para realizar o deslocamento via transporte público. Contudo, o intervalo entre sessões nessas duas arenas é próximo a 12 horas, logo não haveria prejuízo em relação ao comparecimento às sessões esportivas, se este espectador optasse pelo transporte público.

Os resultados, portanto, demonstram que é viável a escolha por transporte público para o deslocamento entre sessões esportivas nos Jogos Olímpicos de Paris 2024. Embora haja aumento na quilometragem percorrida, o tempo total da rota foi menor do que o do deslocamento realizado por carro. Em relação à pegada de carbono da operação de transporte, o uso das rotas alternativas, por transporte público, alcançou uma redução de 87,58% em relação ao deslocamento via carro.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho analisou, sob o ponto de vista ambiental, as diferenças entre as pegadas de carbono geradas pela operação de transportes no deslocamento de espectadores durante os Jogos Olímpicos de Paris, em 2024. Foi analisada uma rota otimizada com base na agenda dos Jogos e no orçamento disponível para um cidadão europeu, que respondeu por 92% do total do público presente nas últimas Olimpíadas. Este mesmo itinerário foi avaliado primeiro considerando como possibilidade de deslocamento apenas o veículo particular e, então, foram analisadas alternativas de viagens utilizando o transporte público disponível. Os resultados demonstraram uma grande diferença nas emissões de GEE entre os cenários. Verificou-se que a viagem ideal, quando priorizada a alternativa de transporte público, teria um potencial de redução de 87,58% das emissões, em relação ao uso do carro. Além disso, embora haja aumento na distância total percorrida, houve diminuição de 16,11% no tempo total gasto em deslocamento, graças principalmente às rotas mais longas, que utilizam o trem de alta velocidade. Em relação à agenda previamente retornada pelo modelo matemático, este estudo verificou que não haveria qualquer prejuízo para o espectador ao optar por se deslocar através de transporte público. Todos os deslocamentos seriam finalizados a tempo de comparecer a todas as sessões esportivas.

Em relação a trabalhos futuros, a inclusão desta ótica "verde" diretamente no modelo utilizado se apresenta como uma interessante abordagem, com a inclusão de penalização adicional ao custo de deslocamento para as rotas menos sustentáveis.

Referências

Azevedo, A. F. d., Júnior, A. A. M., Guimarães, V. d. A., Bahiense, L., e González, P. H. (2024). Optimization of olympic game-watching schedules: A socioeconomic analysis for paris 2024. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, volume Vol 56, 2024 of *SBPO 2024*. Galoa.

CO2 Impact (2025). Transport — co2 impact. URL `https://impactco2.fr/outils/transport`. Acessado em 28 de abril de 2025.

Comitê Olímpico Internacional (2014). Olympic agenda 2020. URL `https://www.olympics.com/ioc/olympic-agenda-2020`. Acessado em 28 de abril de 2025.

Dosumu, A., Colbeck, I., e Bragg, R. (2017). Greenhouse gas emissions as a result of spectators travelling to football in england. *Scientific Reports*, 7(1). ISSN 2045-2322.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br

Enef Cities (2023). Fourth tram-train line was opened in paris agglomeration. URL https://enefcities.org.ua/en/news/fourth-tram-train-line-was-opened-in-paris-agglomeration. Acessado em 28 de abril de 2025.

European Transport Safety Council (2025). 30km/h limits set to spread in 2021. URL https://etsc.eu/30km-h-limits-set-to-spread-in-2021/. Acessado em 28 de abril de 2025.

Funet (2025). Funet rail photography archive. URL https://www.nic.funet.fi/index/pics/railways/France/EMU-DMU/index.html. Acessado em 28 de abril de 2025.

Grand Paris Express (2025). Take a ride on the new metro. URL https://www.grandparisexpress.fr/new-metro. Acessado em 28 de abril de 2025.

IPAM Amazônia (2025). Co2 equivalente. URL https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/. Acessado em 28 de abril de 2025.

Jäckle, S. (2021). Reducing the carbon footprint of academic conferences by online participation: The case of the 2020 virtual european consortium for political research general conference. *PS: Political Science amp; Politics*, 54(3):456–461. ISSN 1537-5935.

Khanna, M., Daddi, T., Merlo, F., e Iraldo, F. (2024). An assessment on the carbon footprint of a football club—an action research from theory to practice. *Circular Economy and Sustainability*, 4(2):1587–1612. ISSN 2730-5988.

LegiFrance (2025). Chapitre iii : Vitesse (articles r413-1 à r413-19). URL https://www.nic.funet.fi/index/pics/railways/France/EMU-DMU/index.html. Acessado em 28 de abril de 2025.

Organização das Nações Unidas (2015). United nations sustainable development. URL https://www.un.org/sustainabledevelopment/. Acessado em 10 de abril de 2025.

Paris 2024 (2024a). Paris 2024 presents the results of its actions to make the games more sustainable. URL https://press.paris2024.org/news. Acessado em 28 de abril de 2025.

Paris 2024 (2024b). Paris 2024 summer olympics. URL https://www.olympics.com/en/olympic-games/paris-2024. Acessado em 28 de abril de 2025.

Pinheiro Tóffano Pereira, R. e Galo, N. R. (2024). Análise das emissões de alternativas de transporte turístico de um participante do 20º rio de transportes. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, 10(2):60–84. ISSN 2447-8156.

Railway Gazette (2007). World speed survey: New lines boost rail's high speed performance. URL https://web.archive.org/web/20080907001541/http://www.railwaygazette.com/news_view/article/2007/09/7742/new_lines_boost_rails_high_speed_performance.html. Acessado em 28 de abril de 2025.

RATP (2025). Info trafic general bulletin — ratp. URL https://www.ratp.fr/en/infos-trafic. Acessado em 28 de abril de 2025.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212249
https://proceedings.science/p/212249?lang=pt-br