

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**Análise das viagens de bicicletas  
compartilhadas no campus do  
Butantã-USP**

Gabriel da Silva Alves

MONOGRAFIA FINAL

MAC 499 — TRABALHO DE  
FORMATURA SUPERVISIONADO

Supervisor: Prof. Dr. Fabio Kon

São Paulo  
2025

*O conteúdo deste trabalho é publicado sob a licença CC BY 4.0  
(Creative Commons Attribution 4.0 International License)*

# Resumo

Gabriel da Silva Alves. **Análise das viagens de bicicletas compartilhadas no campus do Butantã-USP.** Monografia (Bacharelado). Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

Sistemas de bicicletas compartilhadas têm se consolidado como uma solução eficiente para os desafios de mobilidade urbana, especialmente para resolver o problema da “última milha” em conexões com o transporte público. Este trabalho apresenta uma análise exploratória e descritiva do uso do sistema de bicicletas compartilhadas no campus da Cidade Universitária da Universidade de São Paulo (USP), utilizando dados reais de operação. O estudo processou um conjunto de dados contendo 59.921 viagens realizadas entre 2018 e 2022, fornecidos pelo projeto BikeScience em parceria com a operadora Tembici. Para viabilizar a análise, foi desenvolvida uma plataforma web interativa utilizando Python/Django, banco de dados PostgreSQL e interface em React, permitindo a visualização dinâmica de fluxos e padrões temporais. Os resultados revelam que o sistema desempenha um papel dual fundamental no campus: atua como integrador modal (33% das viagens são de curta duração, caracterizando uso de “última milha” a partir do Metrô e CPTM) e como principal meio de transporte interno (57% das viagens iniciam e terminam dentro do campus). A análise identificou a estação do Restaurante Central como o principal polo gerador de viagens, concentrando 33% de todas as movimentações. O trabalho contribui com uma caracterização detalhada da mobilidade ativa no campus e fornece ferramentas analíticas para apoiar o planejamento e a gestão da infraestrutura ciclovária universitária.

**Palavras-chave:** Bicicletas compartilhadas. Mobilidade urbana. Ciência de dados. Visualização de dados. USP.



# Abstract

Gabriel da Silva Alves. **Analysis of shared bicycle trips on the Butantã-USP campus.** Capstone Project Report (Bachelor). Institute of Mathematics and Statistics, University of São Paulo, São Paulo, 2025.

Shared bicycle systems have established themselves as an efficient solution for urban mobility challenges, particularly for solving the “last mile” problem in connections with public transport. This work presents an exploratory and descriptive analysis of the usage of the shared bicycle system at the University of São Paulo (USP) main campus, using real operational data. The study processed a dataset containing 59,921 trips made between 2018 and 2022, provided by the BikeScience project in partnership with the operator Tembici. To enable the analysis, an interactive web platform was developed using Python/Django, PostgreSQL database, and React interface, allowing for dynamic visualization of flows and temporal patterns. The results reveal that the system plays a fundamental dual role on campus: it acts as a modal integrator (33% of trips are short-duration, characterizing “last mile” usage from Subway and Train stations) and as the main means of internal transport (57% of trips start and end within the campus). The analysis identified the Central Restaurant station as the main trip generator, accounting for 33% of all movements. This work contributes a detailed characterization of active mobility on campus and provides analytical tools to support the planning and management of university cycling infrastructure.

**Keywords:** Shared bicycles. Urban mobility. Data science. Data visualization. USP.



# Listas de Figuras

3.1 Ciclofaixa com estacionamento paralelo de veículos na Avenida Luciano Gualberto. Foto: Marcos Santos/USP Imagens. . . . .	10
4.1 Arquitetura do sistema dividida em três camadas: (1) <b>Dados/ETL</b> – scripts Python processam arquivos CSV e GeoJSON brutos; (2) <b>Servidor</b> – Django fornece API REST e utiliza Pandas para análises, com dados persistidos em PostgreSQL; (3) <b>Usuário</b> – interface React no navegador consome a API e renderiza visualizações interativas com mapas (Leaflet) e gráficos (Chart.js). . . . .	16
4.2 Interface principal da aplicação BikeScience Web mostrando o mapa interativo do campus do Butantã com estações (marcadores azuis), ciclovias (linhas azuis) e o painel de controles e filtros à direita. . . .	22
4.3 Histograma de utilização por hora mostrando a média de partidas (barras azuis) e chegadas (barras vermelhas) para a estação 244 - Metrô Butantã. O período analisado abrange de 01/01/2020 a 27/04/2022 considerando apenas dias úteis. . . . .	23
4.4 Análise do saldo de retiradas e devoluções mostrando o saldo (partidas - chegadas) por hora para a estação 244 - Metrô Butantã. Barras verdes indicam períodos com mais chegadas (acúmulo de bicicletas), enquanto barras vermelhas indicam mais partidas (necessidade de reabastecimento). O saldo total de -1680 indica que esta estação é predominantemente origem de viagens, necessitando reposição frequente de bicicletas. . . . .	23
4.5 Painel de análise detalhada mostrando os filtros disponíveis: seleção de dias da semana, exclusão de meses, tipo de cálculo (média vs. total), e configurações de visualização de fluxos. O exemplo mostra dados da estação 244 - Metrô Butantã com filtros aplicados para dias úteis. . .	24

4.6	Trecho de código do <i>backend</i> Django mostrando a implementação de filtros dinâmicos. A função recebe parâmetros da requisição HTTP (dias da semana, meses excluídos, estação específica) e constrói consultas SQL otimizadas usando Django ORM. Este sistema permite que o usuário refine a análise em tempo real através da interface web. . . . .	30
5.1	Distribuição de viagens por hora do dia. Três picos distintos: manhã (chegada), almoço e fim de tarde (saída). Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	33
5.2	Distribuição de viagens por dia da semana. Concentração de 69,0% em dias úteis. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	34
5.3	Comparação entre padrões horários em dias úteis e finais de semana. Dias úteis apresentam três picos bem definidos, enquanto fins de semana mostram uso mais distribuído. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	35
5.4	Distribuição de viagens por mês, evidenciando concentração de 69,8% no período letivo. <b>Nota:</b> Os dados de 2022 abrangem apenas janeiro-abril, o que pode inflar as médias mensais deste período ao serem comparadas com anos completos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	35
5.5	Impacto do calendário acadêmico. (a) Dias letivos têm média de viagens 63% superior às férias. (b) Padrão sazonal claro com picos em março/abril e agosto/setembro, e vales em janeiro/fevereiro e julho. <b>Nota:</b> O ano de 2022 contém dados apenas até abril, o que pode afetar as médias mensais dos primeiros quatro meses ao comparar com anos completos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	36
5.6	Evolução temporal das viagens do campus USP (jun/2018 - abr/2022). A linha vermelha marca a inauguração do sistema em 05/03/2020, que coincidiu com o pico inicial antes do lockdown de 23/03/2020. A linha verde indica o início da recuperação gradual em 2021. O sistema mostra forte crescimento em 2022, atingindo 11.774 viagens em abril/2022. <b>Nota:</b> O ano de 2022 apresenta dados apenas para janeiro-abril, portanto não representa um ano completo. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	37
5.7	Padrões de horários acadêmicos. Picos coincidentes com horários de aula (8h, 10h, 14h, 16h, 19h). Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	39

5.8	Histograma detalhado da duração das viagens internas (até 60 minutos). Observa-se concentração de viagens curtas e médias, com mediana de 17,9 minutos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	40
5.9	Distribuição de viagens por faixas de duração. Viagens muito longas ( $\geq 40$ min) representam a maior fatia individual (22,7%), seguidas por viagens de 10-20 min (19,8%). Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	40
5.10	Saldo de retiradas e devoluções nos 3 portais no limite do campus. Saldo positivo (verde) indica mais partidas que chegadas (bicicletas entrando no campus); saldo negativo (vermelho) indica mais chegadas que partidas (bicicletas saindo do campus). Este padrão confirma integração com transporte público: pessoas chegam de metrô/trem, pegam bike para entrar no campus pela manhã, e fazem o caminho inverso à tarde. Portão CPTM apresenta padrão mais equilibrado. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	48
5.11	Pico de almoço nos bandejões. O pico de almoço é extremamente pronunciado entre 11h e 14h, com o Bandejão Central dominando o volume. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	49
5.12	Origens para o Bandejão Central. As origens são diversas, incluindo muitas viagens circulares e conexões com o Metrô. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	49
5.13	Proporção de viagens circulares. Representam 35,3% das viagens internas no campus. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	51
5.14	Concentração de viagens circulares no Bandejão Central. O Bandejão Central concentra 61% de todas as viagens circulares, indicando forte correlação com alimentação e proximidade ao CRUSP. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	52
5.15	Histograma de duração das viagens circulares. A mediana de 37,5 minutos indica uso utilitário predominante. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	52
5.16	Distribuição por faixas de duração das viagens circulares. A concentração na faixa de 30-60 minutos (46,4%) sugere uso como “estacionamento móvel” durante atividades no campus. Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	53
5.17	Distribuição horária das viagens circulares. Picos coincidentes com horários de almoço (11h-12h) e fim de tarde (16h-17h). Fonte: dados Tembici processados pelo autor. . . . .	53

# **Lista de Tabelas**

3.1	Indicadores de infraestrutura e uso do sistema no campus USP. . . . .	12
3.2	Ranking de estações por volume de movimentações (jun/2018 - abr/2022)	13
5.1	Comparativo entre fluxos de entrada e saída . . . . . . . . . . . . . . . . .	47

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Contribuições . . . . .	2
<b>2</b>	<b>O Projeto BikeScience</b>	<b>3</b>
2.1	Relação com este trabalho . . . . .	3
2.1.1	A metodologia do BikeScience: análise macro com abstração por grade . . . . .	3
2.1.2	A abordagem deste TCC: nível micro e contextual . . . . .	4
2.1.3	Ferramentas desenvolvidas . . . . .	4
2.2	Contexto da Tembici e tecnologia . . . . .	5
2.3	Fontes de dados . . . . .	5
2.3.1	Formato dos dados . . . . .	5
2.4	Fluxo de processamento . . . . .	6
2.4.1	Consolidação dos dados . . . . .	6
2.4.2	Enriquecimento e limpeza . . . . .	6
2.4.3	Modelo de dados . . . . .	6
<b>3</b>	<b>A Infraestrutura da CUASO</b>	<b>9</b>
3.1	Características do campus . . . . .	9
3.2	Ciclofaixas no campus . . . . .	9
3.2.1	Ciclofaixas no campus: design e segurança . . . . .	10
3.3	Estações de bicicletas compartilhadas (Tembici) . . . . .	11
3.3.1	Modelo de operação . . . . .	11
3.3.2	Infraestrutura de apoio ao ciclismo . . . . .	11
3.4	Números e indicadores . . . . .	11
3.4.1	Ranking de estações por volume . . . . .	11

<b>4 Implementação</b>	<b>15</b>
4.1 Arquitetura do sistema . . . . .	15
4.1.1 Organização do código . . . . .	16
4.2 Tecnologias . . . . .	17
4.2.1 Backend . . . . .	17
4.2.2 Frontend . . . . .	17
4.2.3 Mapas e dados geográficos . . . . .	18
4.2.4 Ferramentas de desenvolvimento . . . . .	18
4.3 Cálculos e agregações . . . . .	18
4.3.1 Pré-computação de campos derivados . . . . .	18
4.3.2 Histograma agregado por estação e hora . . . . .	19
4.3.3 Fluxos entre estações . . . . .	19
4.3.4 Otimizações de banco de dados . . . . .	20
4.4 Visualizações . . . . .	20
4.4.1 Mapa interativo . . . . .	20
4.4.2 Histogramas temporais . . . . .	20
4.4.3 Análise de Saldo de Retiradas e Devoluções . . . . .	21
4.4.4 Painel de filtros . . . . .	21
4.5 Interface da aplicação web . . . . .	21
4.5.1 Tela principal com mapa interativo . . . . .	21
4.5.2 Visualização de histogramas por estação . . . . .	22
4.5.3 Visualização de Saldo de Retiradas e Devoluções . . . . .	22
4.5.4 Painel de filtros e análise detalhada . . . . .	24
4.5.5 Funcionalidades principais da plataforma . . . . .	24
4.5.6 Otimizações de desempenho implementadas . . . . .	25
4.5.7 Otimizações e Desafios de Desempenho . . . . .	25
4.6 API RESTful do <i>backend</i> . . . . .	25
4.7 Implementação do código . . . . .	26
4.7.1 Modelo de dados Django . . . . .	26
4.7.2 Agregação de histograma no backend . . . . .	27
4.7.3 Renderização de mapa no frontend . . . . .	28
4.7.4 Filtragem reativa com hooks React . . . . .	29
<b>5 Discussão</b>	<b>31</b>
5.1 Caracterização geral do uso . . . . .	31
5.2 Diferenças entre estações . . . . .	32
5.2.1 Estações de alta demanda . . . . .	32
5.2.2 Estações de demanda intermediária e baixa . . . . .	32

5.2.3	Principais fluxos origem-destino . . . . .	32
5.3	Diferenças por hora do dia . . . . .	33
5.3.1	Picos de demanda . . . . .	33
5.3.2	Períodos de baixa demanda . . . . .	34
5.4	Diferenças por dia da semana . . . . .	34
5.4.1	Padrão semanal . . . . .	34
5.5	Diferenças por mês e sazonalidade acadêmica . . . . .	34
5.5.1	Período letivo vs. férias . . . . .	36
5.5.2	Impacto da pandemia COVID-19 . . . . .	36
5.6	Integração com o sistema metropolitano . . . . .	37
5.6.1	Papel das bicicletas compartilhadas . . . . .	37
5.7	Concentração espacial e temporal . . . . .	38
5.8	Análises específicas do contexto universitário . . . . .	38
5.8.1	Padrões de horários acadêmicos . . . . .	38
5.8.2	Duração das viagens internas e uso do sistema . . . . .	39
5.8.3	Integração modal com transporte público metropolitano . . . . .	41
5.8.4	Análise detalhada do fluxo interno (USP → USP) . . . . .	43
5.8.5	Análise detalhada do fluxo de entrada (EXTERNO → USP) . . . . .	44
5.8.6	Análise detalhada do fluxo de saída (USP → EXTERNO) . . . . .	45
5.8.7	Movimento para restaurantes universitários (bandejões) . . . . .	48
5.8.8	Análise detalhada de viagens circulares . . . . .	50
5.8.9	Síntese dos padrões do contexto universitário . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>57</b>
<b>Referências</b>		<b>59</b>



# Capítulo 1

## Introdução

Este trabalho apresenta uma análise exploratória e descritiva do uso do sistema de bicicletas compartilhadas no campus do Butantã da Universidade de São Paulo (USP). O objetivo é identificar padrões de mobilidade e de demanda entre estações, ao longo do dia, dos dias da semana e dos meses, além de discutir implicações para infraestrutura cicloviária e operação do sistema.

### 1.1 Motivação

O campus do Butantã da USP possui grande extensão territorial, com várias unidades acadêmicas e administrativas espalhadas geograficamente. O sistema de ônibus circular interno (BUSB) enfrenta desafios operacionais nos horários de pico, com filas longas e superlotação, resultando em tempos de deslocamento elevados para trajetos entre unidades distantes.

Em março de 2020, a USP inaugurou um sistema de bicicletas compartilhadas operado pela Tembici, com investimento de R\$ 3,4 milhões em infraestrutura cicloviária e 17 estações distribuídas pelo campus [JORNAL DA USP, 2021; PUSP-CB, 2020a](#). Este sistema apresenta-se como alternativa complementar ao BUSP, oferecendo flexibilidade de rotas e integração com o transporte público metropolitano.

Apesar do investimento substancial, há lacuna no conhecimento sobre os padrões efetivos de uso do sistema. Este trabalho justifica-se pela necessidade de caracterizar empiricamente a utilização das bicicletas compartilhadas no campus, fornecendo subsídios baseados em dados para otimização operacional, planejamento de infraestrutura e políticas de mobilidade universitária. A análise de 59.921 viagens reais permite identificar oportunidades de melhoria e avaliar o papel do sistema em facilitar a integração intermodal e no deslocamento sustentável dentro da universidade.

## 1.2 Objetivos

- Descrever a infraestrutura cicloviária e a disponibilidade de estações de bicicletas compartilhadas no campus;
- Analisar padrões de uso por estação, hora do dia, dia da semana e mês;
- Apresentar o projeto BikeScience;
- Documentar a implementação (organização do código, tecnologias, cálculos e visualizações), com trechos de código e capturas de tela legíveis.

## 1.3 Contribuições

- Aplicação Web para consolidação, processamento e análise de dados de bicicletas compartilhadas;
- Estrutura analítica reproduzível para dados de viagens no campus;
- Visualizações voltadas ao apoio de decisão (padrões temporais e espaciais);
- Identificação de diferenças de uso entre estações e períodos de tempo.

# Capítulo 2

## O Projeto BikeScience

O *BikeScience* é um projeto de pesquisa coordenado pelo Prof. Dr. Fabio Kon do Instituto de Matemática e Estatística da USP (IME-USP), desenvolvido em parceria com a InterSCity Research Group. O projeto tem como objetivo analisar sistemas de bicicletas compartilhadas através de dados massivos de viagens, compreender padrões de mobilidade urbana e apoiar o desenvolvimento de políticas públicas para incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte sustentável [KON et al., 2022](#).

O BikeScience utiliza dados de sistemas de bicicletas compartilhadas operados pela Tembici em diversas cidades brasileiras, incluindo São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Porto Alegre. A análise destes dados permite identificar padrões espaciais e temporais de uso, avaliar impactos de infraestrutura ciclovária e subsidiar decisões sobre expansão e melhoria destes sistemas.

O código-fonte do projeto BikeScience está disponível publicamente no repositório GitLab: <https://gitlab.com/interscity/bike-science>.

### 2.1 Relação com este trabalho

Este TCC é uma derivação direta do projeto BikeScience, utilizando sua infraestrutura de coleta e processamento de dados (descrita nas Seções 2.3 e 2.4). Contudo, este trabalho apresenta uma contribuição metodológica distinta ao adaptar a análise para um escopo micro e contextual, focado no ecossistema específico do campus da USP.

#### 2.1.1 A metodologia do BikeScience: análise macro com abstração por grade

A contribuição metodológica central do artigo do BikeScience [KON et al., 2022](#) é um método de *abstração de fluxo* (*Flow Abstraction*). Esse método foi desenhado para analisar a mobilidade em um nível macro (cidade inteira, como São Paulo). Para fazer isso, a metodologia agrupa milhões de viagens, que originalmente ocorrem de

estação para estação, em uma grade (*grid*) espacial uniforme (ex:  $10 \times 10$  ou  $20 \times 20$  células).

Essa abordagem de grade permite visualizar como a mobilidade flui entre regiões ou bairros, em vez de focar em pontos específicos. O método classifica, então, esses fluxos regionais em camadas (*tiers*) de importância (ex: Tier 1 a Tier 4), permitindo que usuários identifiquem fluxos que concentram a maior parte das viagens.

### 2.1.2 A abordagem deste TCC: nível micro e contextual

A metodologia de abstração por grade presente no artigo do Bike Science não seria ideal para este TCC. Um escopo tão pequeno e denso como o campus da USP, com apenas 17 estações, seria “dissolvido” por uma grade. No contexto do campus, a identidade da estação é a informação mais crucial; saber que um fluxo vai para o “Bandejão Central” (Estação 249) ou vem do “Metrô Butantã” (Estação 244) é mais importante do que saber que ele vai para a “célula de grade F5”.

Por essa razão, este trabalho optou pela abordagem de granularidade fina, a nível micro, desenvolvendo uma plataforma (Capítulo 4) e análises (Capítulo 5) que operam diretamente sobre os fluxos entre estações.

A principal contribuição metodológica deste Trabalho de Conclusão de Curso é a classificação contextual desses fluxos estação-para-estação em três categorias que fazem sentido no ambiente universitário:

- **Fluxo Interno (USP → USP)**: Circulação dentro do campus
- **Fluxo de Entrada (Ext → USP)**: Integração modal de “última milha”
- **Fluxo de Saída (USP → Ext)**: Integração modal de “primeira milha”

Portanto, enquanto o BikeScience fornece o *pipeline* de dados e um método de análise macro (baseado em grade), este TCC especializa a análise para um nível micro (baseado em estação) e contextual (baseado na segmentação de fluxo), gerando *insights* específicos para o ecossistema da USP que não seriam possíveis com a metodologia de abstração original.

### 2.1.3 Ferramentas desenvolvidas

Além da contribuição metodológica, este trabalho desenvolveu ferramentas próprias de visualização interativa adaptadas ao contexto universitário:

- Plataforma web interativa para exploração de padrões temporais e espaciais
- Visualizações geoespaciais integradas com dados de infraestrutura cicloviária do campus
- Análise detalhada de padrões de uso específicos da comunidade acadêmica (horários de aula, períodos letivos, etc.)
- Sistema de filtros dinâmicos para análise de fluxos por dia da semana, hora e período

## 2.2 Contexto da Tembici e tecnologia

A Tembici é uma empresa de micromobilidade urbana, responsável por mais de 200 milhões de deslocamentos com bicicletas compartilhadas em capitais brasileiras (São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Recife, Porto Alegre) e cidades latino-americanas (Santiago, Buenos Aires, Bogotá) [GOOGLE CLOUD, 2020](#). A empresa opera sob a marca Bike Sampa em São Paulo, com 2.600 bicicletas e 260 estações distribuídas pela cidade [JORNAL DA USP, 2021](#).

A parceria entre o BikeScience e a Tembici possibilita o acesso a dados de viagens para pesquisa acadêmica, contribuindo para o entendimento científico da mobilidade urbana por bicicleta.

## 2.3 Fontes de dados

Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo projeto BikeScience, em parceria com a empresa Tembici, operadora do sistema de bicicletas compartilhadas de São Paulo. O conjunto de dados utilizado para este trabalho abrange o período de junho de 2018 a abril de 2022, totalizando 9.183.856 viagens no banco de dados analisado.

Especificamente para o campus do Butantã da USP, foram identificadas **59.921 viagens** envolvendo as **17 estações** da Tembici localizadas dentro do perímetro geográfico do campus. As cinco estações com maior volume de viagens são:

- **249 - Bandejão Central:** 24.075 viagens (41,4%)
- **246 - Portão CPTM:** 8.686 viagens (14,9%)
- **245 - P1:** 8.015 viagens (13,8%)
- **251 - FAU:** 5.055 viagens (8,7%)
- **247 - CEPE:** 4.803 viagens (8,3%)

### 2.3.1 Formato dos dados

Os dados foram fornecidos em formato CSV com os seguintes campos principais:

- **trip\_id:** Identificador único da viagem
- **duration\_seconds:** Duração da viagem em segundos
- **initial\_station\_name:** Nome da estação de origem
- **final\_station\_name:** Nome da estação de destino
- **start\_time:** Data e hora de início da viagem
- **end\_time:** Data e hora de término da viagem

- `initial_station_latitude/longitude`: Coordenadas geográficas da origem
- `final_station_latitude/longitude`: Coordenadas geográficas do destino
- `birth_year`: Ano de nascimento do usuário (anonimizado)

## 2.4 Fluxo de processamento

O processamento dos dados envolveu diversas etapas implementadas através de *scripts* Python organizados no diretório `scripts/` do repositório do projeto. O pipeline completo inclui:

### 2.4.1 Consolidação dos dados

Os dados originais estavam distribuídos em múltiplos arquivos ZIP contendo CSVs mensais (2018-2023). Foi implementado um script de consolidação (`consolidate_tembici_data.py`) que:

- Extrai automaticamente todos os arquivos ZIP
- Normaliza diferentes formatos de CSV (dados de 2018-2020 têm formato diferente de 2021-2023)
- Realiza mapeamento de colunas para formato padronizado
- Gera um arquivo consolidado único para importação

### 2.4.2 Enriquecimento e limpeza

Durante a importação para o banco de dados, são realizadas as seguintes operações:

- **Padronização de nomes**: Extração de IDs numéricos das estações (formato “242 - Nome da Estação”)
- **Cálculo de campos derivados**: Pré-computação de dia da semana, hora do dia e mês para otimizar consultas
- **Validação**: Verificação de durações válidas e coordenadas geográficas
- **Criação de índices**: Otimização de consultas através de índices em campos frequentemente filtrados

### 2.4.3 Modelo de dados

O banco de dados relacional (PostgreSQL) possui duas entidades principais:

- **Station**: Armazena informações das estações (ID, nome, coordenadas)
- **Trip**: Registra viagens individuais com referências às estações de origem e destino

## 2.4 | FLUXO DE PROCESSAMENTO

O modelo permite consultas eficientes através de chaves estrangeiras e índices estratégicos nos campos mais consultados (`start_time`, `start_day`, `start_hour`, `month`).



# Capítulo 3

## A Infraestrutura da CUASO

Este capítulo descreve elementos relevantes da infraestrutura cicloviária da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), incluindo ciclofaixas internas, estações da operadora Tembici e outros aspectos de apoio ao ciclismo no campus do Butantã.

### 3.1 Características do campus

A Cidade Universitária ocupa uma área de aproximadamente 4,3 km<sup>2</sup> na zona oeste de São Paulo, abrigando diversas unidades de ensino, pesquisa e extensão da USP. O campus possui topografia predominantemente plana, favorável ao uso de bicicletas, com população de aproximadamente 90.000 pessoas em período letivo regular.

### 3.2 Ciclofaixas no campus

O campus implementou um sistema cicloviário abrangente a partir de 2021, totalizando **36 km de infraestrutura**, sendo 33,4 km de vias novas e 2,6 km de reformas **JORNAL DA USP, 2021**. O investimento total foi de R\$ 3,4 milhões, com prazo de conclusão previsto para janeiro de 2022. A implementação envolveu licitação conduzida pela USP (Edital 03/2021), com contratação da empresa A3 Terraplanagem por R\$ 3,42 milhões **VIDUEDO, 2021**.

O projeto cicloviário adotou princípios de *traffic calming* (acalmamento de tráfego): a velocidade máxima em todo o campus foi reduzida para 40 km/h, e ciclofaixas foram implantadas com estacionamento paralelo, estreitando as faixas de rolamento para veículos motorizados **PUSP-CB, 2021**. Esta abordagem visa aumentar a segurança de ciclistas e pedestres através da redução da velocidade veicular.

O campus adota oficialmente a hierarquia de prioridade: **pedestres > bicicletas > transporte público PUSP-CB, 2020b**, conforme diretriz da reitoria para melhoria da mobilidade interna.

### 3.2.1 Ciclofaixas no campus: design e segurança

A rede cicloviária do campus, que totaliza 36 km (JORNAL DA USP, 2021), não se limita a uma simples pintura de faixa. O projeto adotou princípios de traffic calming (acalmamento de tráfego), conforme descrito pela Prefeitura do Campus (PUSP-C, 2021), que se mostraram eficazes na prática.

A principal característica do design adotado, e que motivou este trabalho, é o remanejamento das vagas de estacionamento. Em vias de grande fluxo, como as Avenidas Prof. Luciano Gualberto e Prof. Lineu Prestes, a ciclofaixa foi posicionada entre a calçada e a faixa de carros estacionados.

Como observado em campo pelo autor, essa decisão de projeto cria um "escudo" para o ciclista: os veículos estacionados servem como uma barreira física de proteção (um buffer) contra o tráfego motorizado em movimento. Esta tática, aliada ao estreitamento da via de rolamento (que induz os motoristas a dirigirem mais devagar) e à redução da velocidade máxima do campus para 40 km/h, constitui a medida de segurança mais impactante do sistema.

Essa rede se mostrou funcional, permitindo ao autor e a outros usuários acessar praticamente todas as unidades do campus de forma conectada e segura.

A Figura 3.1 ilustra um exemplo dessa configuração na Avenida Luciano Gualberto, onde é possível observar a ciclofaixa posicionada entre a calçada e os veículos estacionados paralelamente. A reorganização dos estacionamentos de veículos está entre as ações adotadas para aumentar a segurança dos usuários da ciclovía.



**Figura 3.1:** Ciclofaixa com estacionamento paralelo de veículos na Avenida Luciano Gualberto. Foto: Marcos Santos/USP Imagens.

Os dados geoespaciais das ciclovias foram obtidos do portal GeoSampa da Prefeitura de São Paulo e convertidos para formato GeoJSON para uso no sistema

desenvolvido.

### 3.3 Estações de bicicletas compartilhadas (Tembici)

O sistema de bicicletas compartilhadas foi inaugurado oficialmente em **5 de março de 2020 PUSP-CB, 2020a**, com base na **Resolução USP nº 7625 de 12 de março de 2019**. A inauguração contou inicialmente com 18 estações, com expectativa de atender cerca de 5.000 pessoas por dia da comunidade USP. O sistema faz parte do Bike Sampa, operado pela Tembici e patrocinado pelo Itaú Unibanco, que possui 2.600 bicicletas e 260 estações distribuídas pela cidade de São Paulo **JORNAL DA USP, 2021**.

As estações foram posicionadas estratégicamente para integração modal com transporte público (Metrô Butantã, CPTM), proximidade a restaurantes universitários e distribuição entre as principais unidades acadêmicas, visando atender a “última milha” dos deslocamentos intermodais **PUSP-CB, 2020b**.

#### 3.3.1 Modelo de operação

O sistema opera sob modelo *station-based*: o usuário retira a bicicleta de uma estação origem e devolve em qualquer estação destino. Este modelo gera fluxos direcionais que podem causar desequilíbrios temporários, sendo necessário rebalanceamento pela operadora.

#### 3.3.2 Infraestrutura de apoio ao ciclismo

Além do sistema Tembici, a infraestrutura de apoio ao ciclismo no campus, como paraciclos e bicicletários distribuídos próximos às unidades e restaurantes, cumpre um papel complementar. Essa infraestrutura de apoio é visível e funcional, incentivando não apenas o uso do sistema de compartilhamento (objeto deste estudo), mas também o uso de bicicletas próprias por parte da comunidade acadêmica, fomentando uma cultura de mobilidade ativa no campus.

### 3.4 Números e indicadores

A Tabela 3.1 resume os principais indicadores quantitativos do sistema.

#### 3.4.1 Ranking de estações por volume

A Tabela 3.2 apresenta as 17 estações localizadas dentro do perímetro do campus, ordenadas por volume total de movimentações.

É fundamental distinguir o conceito de **viagem** do conceito de **movimentação** para a correta interpretação dos dados:

Indicador	Valor
Número de estações Tembici (dentro do perímetro)	17
Total de viagens analisadas (campus USP)	59.921
Período dos dados	jun/2018 - abr/2022
Duração do período	~3,9 anos
Estação mais movimentada	249 - Bandejão Central
Viagens na estação mais movimentada	31.428
Estação menos movimentada	242 - Letras
Viagens na estação menos movimentada	730
Média de viagens por estação	5.532
Proporção viagens internas (USP → USP)	57,0%
Área do campus (km <sup>2</sup> )	~4,3
Densidade de estações (est./km <sup>2</sup> )	~3,7

**Tabela 3.1:** Indicadores de infraestrutura e uso do sistema no campus USP.

- **Viagem:** Deslocamento completo de uma origem A até um destino B.
- **Movimentação:** Interação com uma estação (retirada ou devolução).

Enquanto a Tabela 3.1 apresenta o total de 59.921 *viagens* que tocam o campus, a Tabela 3.2 soma as *movimentações*. Viagens internas (34.126) geram duas movimentações no campus (uma retirada e uma devolução), enquanto viagens externas (25.795) geram apenas uma. O total de 94.047 na Tabela 3.2 reflete a soma de todas as retiradas e devoluções nas estações do campus ( $34.126 \times 2 + 25.795 = 94.047$ ).

## 3.4 | NÚMEROS E INDICADORES

ID	Nome da Estação	Movimentações	%
249	Bandejão Central	31.428	33,42%
246	Portão CPTM	9.672	10,28%
245	Raia Olímpica USP	8.838	9,40%
251	IME/FAU	5.312	5,65%
247	CEPE	5.245	5,58%
248	Biblioteca Brasiliana	4.822	5,13%
253	Biênio Poli USP	4.807	5,11%
250	Bandejão Química	4.349	4,62%
243	Bancos/Reitoria	3.739	3,98%
259	Portão 1 USP	3.277	3,48%
254	Terminal de Ônibus USP	2.782	2,96%
252	Psicologia	2.445	2,60%
260	Harmonia	1.799	1,91%
257	Hospital Universitário	1.798	1,91%
258	Odontologia	1.532	1,63%
256	Bandejão Prefeitura	1.472	1,57%
242	Letras	730	0,78%
<b>Total</b>		<b>94.047</b>	<b>100,00%</b>

**Tabela 3.2:** Ranking de estações por volume de movimentações (jun/2018 - abr/2022)



# Capítulo 4

## Implementação

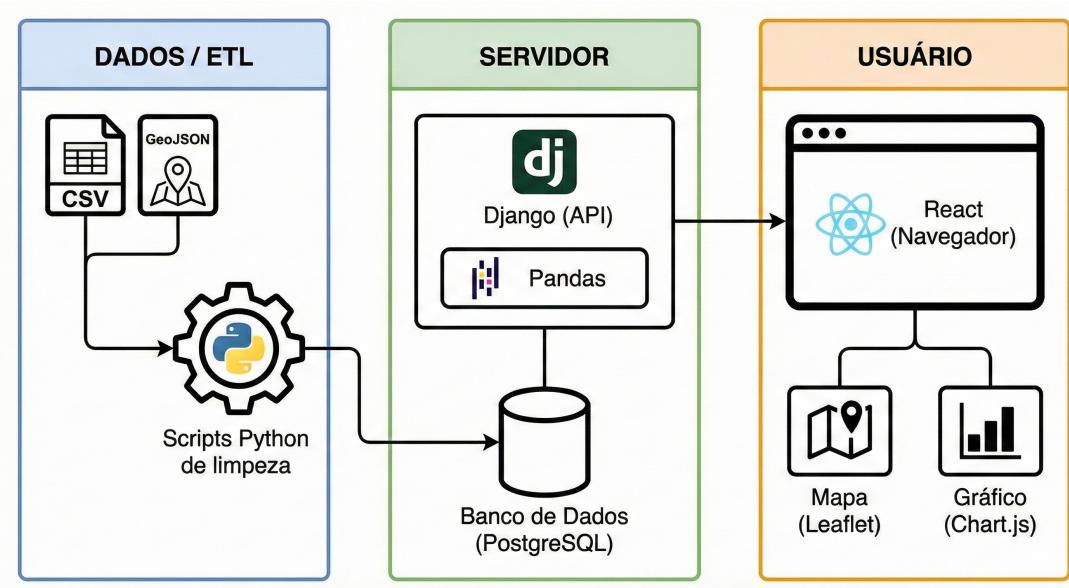
Este capítulo documenta a arquitetura do sistema, as tecnologias utilizadas, os cálculos implementados e as visualizações geradas. A implementação equilibra aspectos de engenharia de software (desenvolvimento de plataforma web) com análise de dados (processamento de grandes volumes de informação). O sistema completo é composto por um *backend* em Django que processa os dados e serve uma API RESTful, e um *frontend* em React que apresenta visualizações interativas. Trechos de código, capturas de tela e diagramas são incluídos para ilustrar as escolhas de projeto.

### 4.1 Arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema foi uma decisão de projeto deliberada, alinhada aos objetivos do TCC e ao ecossistema de pesquisa no qual ele se insere.

Para o backend, a escolha do Django (Python) foi uma decisão estratégica. Como este trabalho utiliza dados do projeto BikeScience, que também utiliza Python para análise de dados, a adoção do Django permitiu consistência com o ecossistema do projeto. Além disso, serviu ao objetivo de aprofundar conhecimentos em um framework de backend, aproveitando a facilidade da linguagem Python para manipulação e análise de dados.

Para o frontend, a escolha por React foi baseada na experiência prévia do autor com a biblioteca e seu ecossistema maduro para visualização de dados e mapas, como o Leaflet. A decisão de criar uma aplicação web interativa (Single-Page Application) foi motivada pelo objetivo de tornar os dados acessíveis a diferentes usuários em diversos dispositivos, permitindo que mais pessoas pudessem consultar e explorar as análises de forma conveniente, seja em navegadores desktop ou dispositivos móveis. O React, com sua abordagem de componentização, facilitou a criação do painel de filtros reativo (detalhado na Seção 4.5.3).



**Figura 4.1:** Arquitetura do sistema dividida em três camadas: (1) **Dados/ETL** – scripts Python processam arquivos CSV e GeoJSON brutos; (2) **Servidor** – Django fornece API REST e utiliza Pandas para análises, com dados persistidos em PostgreSQL; (3) **Usuário** – interface React no navegador consome a API e renderiza visualizações interativas com mapas (Leaflet) e gráficos (Chart.js).

#### 4.1.1 Organização do código

O projeto está dividido em dois repositórios Git independentes, ambos disponíveis publicamente no GitHub:

- **Backend:** `bikeProject-backEnd`  
<https://github.com/gabrielsrd/bikeProject-backEnd>
- **Frontend:** `bikeProject-frontEnd`  
<https://github.com/gabrielsrd/bikeProject-frontEnd>

##### Backend (`bikeProject-backEnd`)

- `ciclovias/`: Aplicação Django principal
  - `models.py`: Modelos de dados (Station, Trip)
  - `views.py`: Views da API RESTful
  - `urls.py`: Roteamento de endpoints
  - `management/commands/`: Comandos customizados (import\_trips)
- `scripts/`: Scripts de processamento e consolidação de dados
- `geojsons/`: Arquivos GeoJSON de ciclovias e estações
- `dataRaw/`: Dados brutos da Tembici (não versionados)
- `.env`: Variáveis de ambiente do banco de dados local

## Frontend (bikeProject-frontEnd)

- `src/components/`: Componentes React reutilizáveis
- `src/services/`: Camada de comunicação com API
- `public/`: Recursos estáticos

## 4.2 Tecnologias

A escolha de tecnologias priorizou ferramentas com boa documentação e adequadas para processamento de dados geoespaciais e visualizações interativas.

### 4.2.1 Backend

**Linguagem:** Python 3.12

**Principais bibliotecas:**

- **Django 5**: Framework web para desenvolvimento da API REST
- **Django REST Framework**: Extensão para criação de APIs RESTful
- **django-cors-headers**: Middleware para habilitar CORS (Cross-Origin Resource Sharing)
- **pandas**: Manipulação e análise de dados tabulares
- **numpy**: Operações numéricas e arrays multidimensionais
- **PostgreSQL**: Sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional

### 4.2.2 Frontend

**Linguagem:** JavaScript (ES6+)

**Principais bibliotecas:**

- **React 18**: Biblioteca para construção de interfaces de usuário
- **Leaflet**: Biblioteca JavaScript para mapas interativos
- **React-Leaflet**: Integração do Leaflet com React
- **react-leaflet-cluster**: Clusterização de marcadores para melhor desempenho
- **Chart.js**: Biblioteca para gráficos e visualizações
- **react-chartjs**: Integração do Chart.js com React
- **Bootstrap e react-bootstrap**: Framework CSS para layout responsivo
- **axios**: Cliente HTTP para comunicação com a API

### 4.2.3 Mapas e dados geográficos

- **OpenStreetMap**: Fonte de tiles para o mapa base
- **GeoJSON**: Formato para armazenamento de dados geográficos (estações, ciclovias)

### 4.2.4 Ferramentas de desenvolvimento

- **Git**: Controle de versão (repositórios no GitHub)
- **npm**: Gerenciador de dependências JavaScript
- **pip**: Gerenciador de pacotes Python
- **venv**: Ambiente virtual Python para isolamento de dependências

## 4.3 Cálculos e agregações

Um dos objetivos do projeto era que a plataforma permitisse a análise de dados em tempo real. Ao contrário de um relatório estático, o sistema foi desenhado para que o backend consultasse o banco de dados e gerasse as agregações em tempo real a cada nova filtragem do usuário na interface.

Essa decisão gerou o maior desafio de implementação do TCC, dado o volume de dados brutos (mais de 10GB não comprimidos).

A tentativa inicial de arquitetura foi problemática: o backend tentava processar e agregar os dados diretamente de arquivos CSV consolidados. Embora funcional para testes com datasets pequenos, essa abordagem mostrou-se inviável para o conjunto de dados completo. O tempo de resposta para uma única consulta era bastante demorado, o que invalidava a proposta de interatividade da plataforma.

Uma solução foi a migração de arquivos CSV para um banco de dados relacional. Foi implementado o PostgreSQL para armazenar todos os dados tratados. Essa mudança reduziu drasticamente o tempo de consulta, viabilizando as agregações em tempo real. A escolha por um SGBD robusto como o PostgreSQL garantiu escalabilidade e eficiência nas consultas complexas necessárias para as agregações dinâmicas.

### 4.3.1 Pré-computação de campos derivados

Durante a importação de dados para o banco, são calculados campos que seriam custosos de processar repetidamente:

- **start\_day**: Dia da semana da partida (0=segunda, 6=domingo)
- **start\_hour**: Hora do dia da partida (0-23)
- **end\_day**: Dia da semana da chegada
- **end\_hour**: Hora do dia da chegada

- **month:** Mês da viagem (1-12)

Estes campos permitem filtros e agregações diretas via SQL sem necessidade de parsing de timestamps em cada consulta, reduzindo significativamente o tempo de resposta da API.

### 4.3.2 Histograma agregado por estação e hora

A visualização principal do sistema mostra um histograma de uso por hora do dia para cada estação. Ao invés de retornar milhares de registros individuais, a API realiza agregação no servidor:

1. Filtra viagens conforme parâmetros (dias da semana, meses, estações)
2. Agrupa por estação e hora do dia
3. Conta partidas e chegadas separadamente
4. Calcula média diária (divide pelo número de dias selecionados)
5. Retorna array compacto de 24 posições por estação

A estrutura de resposta JSON retornada pela API para os dados de histograma:

```

1   [
2     {
3       "station_id": 244,
4       "station": "244 - Metro Butanta",
5       "hour": 7,
6       "departures": 45,
7       "arrivals": 12
8     },
9     ...
10    ]

```

**Programa 4.1:** Exemplo de estrutura JSON retornada pela API

Esta estrutura reduz drasticamente o tamanho do payload JSON, acelerando carregamento e renderização.

### 4.3.3 Fluxos entre estações

Para visualizar as rotas mais frequentes, a API calcula fluxos origem-destino:

1. Agrupa viagens por par (estação\_origem, estação\_destino)
2. Conta número de viagens em cada direção
3. Filtra fluxos com mínimo de viagens (parâmetro `min_trips`)
4. Retorna top N fluxos ordenados por volume
5. Inclui coordenadas geográficas para renderização de linhas no mapa

Este endpoint é utilizado para desenhar setas/linhas conectando estações no mapa, com espessura proporcional ao volume de viagens.

#### 4.3.4 Otimizações de banco de dados

Para garantir desempenho adequado com 200k+ registros, foram criados índices em:

- `start_time, end_time`: Filtros por período
- `start_day, start_hour, month`: Filtros temporais
- `initial_station, final_station`: Joins com tabela de estações
- `station_id`: Busca rápida por estação

### 4.4 Visualizações

A plataforma implementa três tipos principais de visualização, todas com atualização dinâmica baseada em filtros:

#### 4.4.1 Mapa interativo

Utiliza Leaflet + OpenStreetMap para exibir:

- **Camada de ciclovias**: GeoJSON com traços das ciclovias do campus (formato LineString)
- **Marcadores de estações**: Pontos clicáveis com popup mostrando nome e ID
- **Clusterização**: Em zoom reduzido, estações próximas são agrupadas em clusters numerados
- **Linhas de fluxo**: Setas conectando pares de estações, com cores indicando intensidade

O mapa é totalmente interativo: zoom, pan, clique em estações para detalhes, e toggle de camadas via controles.

#### 4.4.2 Histogramas temporais

Gráficos de barras empilhadas (Chart.js) mostrando:

- **Eixo X**: Hora do dia (0-23h)
- **Eixo Y**: Número médio de viagens por hora
- **Séries**: Partidas (barras azuis) e chegadas (barras vermelhas)
- **Tooltip**: Ao passar mouse, exibe valor exato

Um histograma é gerado para cada estação selecionada, permitindo comparação visual de padrões entre estações.

### 4.4.3 Análise de Saldo de Retiradas e Devoluções

Uma funcionalidade adicional implementada é a visualização do **saldo de retiradas e devoluções**, que calcula e exibe o saldo entre partidas e chegadas por hora do dia. Este gráfico é fundamental para identificar:

- **Saldo positivo** (barras verdes): Mais chegadas que partidas, indicando acúmulo de bicicletas na estação
- **Saldo negativo** (barras vermelhas): Mais partidas que chegadas, indicando depleção de bicicletas
- **Necessidade de rebalanceamento**: Períodos críticos onde a operadora precisa redistribuir bicicletas entre estações

Esta análise permite à operadora planejar operações de reabastecimento de forma mais eficiente, garantindo disponibilidade adequada de bicicletas nos horários de maior demanda.

### 4.4.4 Painel de filtros

Controles interativos para refinamento da análise:

- **Dias da semana**: Checkboxes para seg-dom (padrão: apenas dias úteis)
- **Meses excluídos**: Seleção múltipla para remover meses (ex: férias)
- **Estação específica**: Dropdown para focar em uma estação
- **Filtro USP**: Toggle para mostrar apenas viagens do campus
- **Agregação**: Média diária vs. Total acumulado
- **Fluxos**: Limite mínimo de viagens e top N fluxos

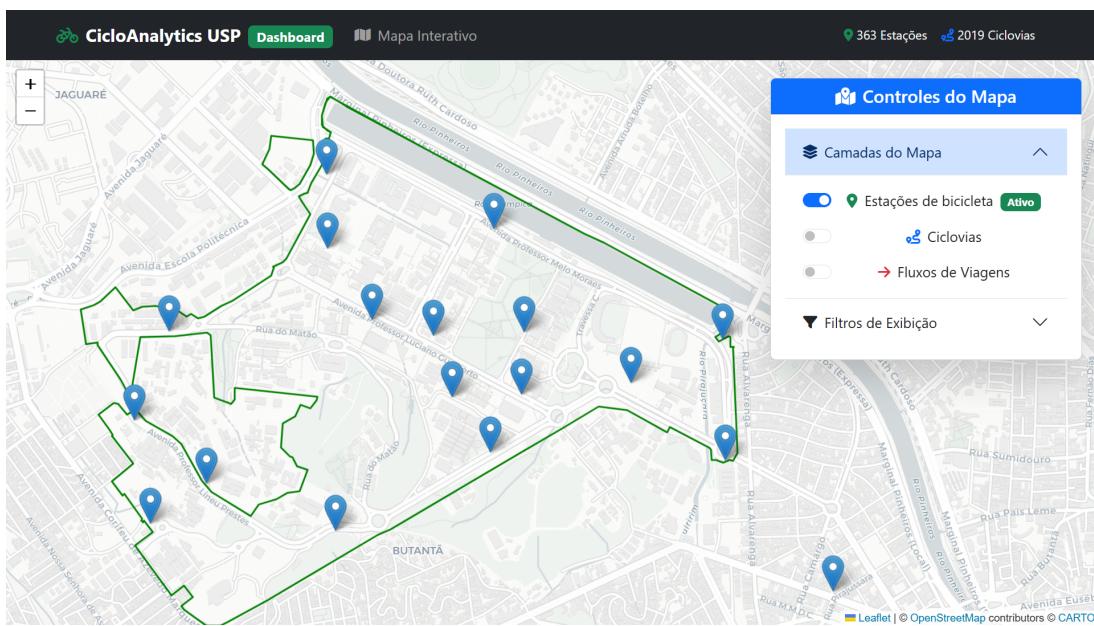
Todos os filtros atualizam as visualizações em tempo real via requisições à API.

## 4.5 Interface da aplicação web

Esta seção apresenta a interface desenvolvida para a plataforma BikeScience Web, mostrando as principais telas e funcionalidades implementadas.

### 4.5.1 Tela principal com mapa interativo

A Figura 4.2 mostra a interface principal da aplicação, onde é possível visualizar o mapa interativo do campus com as estações de bicicletas compartilhadas e as ciclovias. O painel lateral direito permite configurar diversos filtros de análise, incluindo seleção de dias da semana, exclusão de meses específicos e configuração de visualização de fluxos entre estações.



**Figura 4.2:** Interface principal da aplicação BikeScience Web mostrando o mapa interativo do campus do Butantã com estações (marcadores azuis), ciclovias (linhas azuis) e o painel de controles e filtros à direita.

A interface utiliza OpenStreetMap como mapa base, com a biblioteca Leaflet para renderização. As estações são representadas por marcadores clicáveis que, ao serem selecionados, exibem informações detalhadas sobre o uso daquela estação específica.

#### 4.5.2 Visualização de histogramas por estação

A Figura 4.3 apresenta o histograma de utilização de uma estação específica (Metrô Butantã), exibindo a média de partidas e chegadas por hora do dia. Este tipo de visualização permite identificar padrões de uso, como horários de pico e períodos de menor movimento.

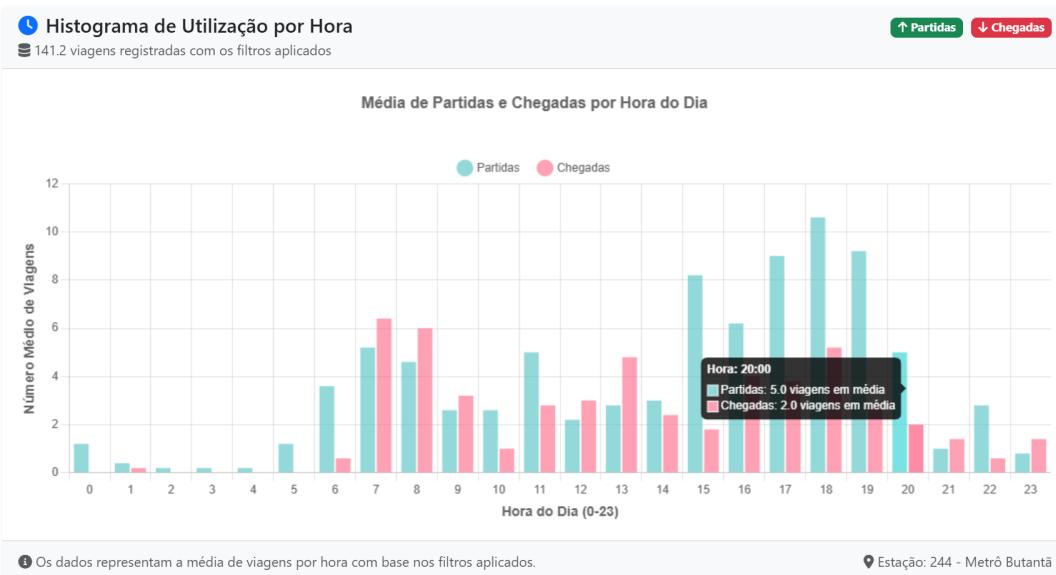
O histograma é gerado dinamicamente através da API do *backend*, que agrupa os dados conforme os filtros selecionados pelo usuário. A biblioteca Chart.js foi utilizada para renderização dos gráficos, oferecendo interatividade através de tooltips.

#### 4.5.3 Visualização de Saldo de Retiradas e Devoluções

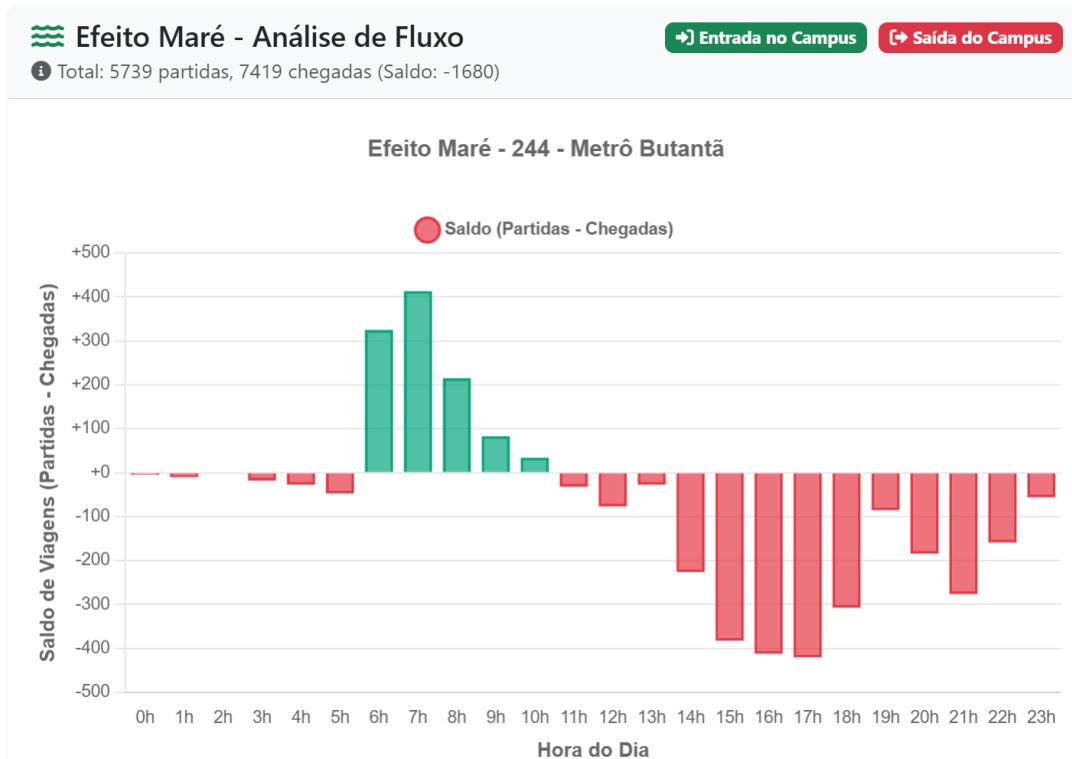
A Figura 4.4 apresenta a análise do saldo de retiradas e devoluções para a estação Metrô Butantã, mostrando o saldo entre partidas e chegadas ao longo do dia. Esta visualização é essencial para operações de rebalanceamento do sistema.

Como observado no gráfico, a estação apresenta saldo negativo intenso nos horários da manhã (7h-9h) e final da tarde (16h-18h), indicando que ciclistas utilizam a estação principalmente para sair do metrô e entrar no campus. O padrão inverso (saldo positivo) é menos pronunciado, confirmando que esta é uma estação predominantemente de origem de viagens para dentro do campus, com necessidade constante de

## 4.5 | INTERFACE DA APLICAÇÃO WEB



**Figura 4.3:** Histograma de utilização por hora mostrando a média de partidas (barras azuis) e chegadas (barras vermelhas) para a estação 244 - Metrô Butantã. O período analisado abrange de 01/01/2020 a 27/04/2022 considerando apenas dias úteis.



**Figura 4.4:** Análise do saldo de retiradas e devoluções mostrando o saldo (partidas - chegadas) por hora para a estação 244 - Metrô Butantã. Barras verdes indicam períodos com mais chegadas (acúmulo de bicicletas), enquanto barras vermelhas indicam mais partidas (necessidade de reabastecimento). O saldo total de -1680 indica que esta estação é predominantemente origem de viagens, necessitando reposição frequente de bicicletas.

reabastecimento pela operadora.

#### 4.5.4 Painel de filtros e análise detalhada

A aplicação permite análises detalhadas através de filtros avançados, como mostrado na Figura 4.5. Os usuários podem selecionar dias específicos da semana, excluir meses (útil para remover períodos de férias ou recessos acadêmicos), escolher entre visualização de médias diárias ou totais acumulados, e configurar parâmetros de visualização dos fluxos entre estações.

**Figura 4.5:** Painel de análise detalhada mostrando os filtros disponíveis: seleção de dias da semana, exclusão de meses, tipo de cálculo (média vs. total), e configurações de visualização de fluxos. O exemplo mostra dados da estação 244 - Metrô Butantã com filtros aplicados para dias úteis.

A implementação dos filtros utiliza React Hooks (`useState` e `useEffect`) para gerenciar o estado da aplicação. Quando o usuário modifica qualquer filtro, uma nova requisição é enviada ao *backend*, que recalcula as agregações e retorna os dados atualizados, mantendo a interface responsiva mesmo com grandes volumes de dados.

#### 4.5.5 Funcionalidades principais da plataforma

A plataforma oferece as seguintes funcionalidades integradas:

- **Mapa interativo:** Exibição de estações e ciclovias do campus usando OpenStreetMap e Leaflet
- **Visualização de fluxos:** Linhas conectando estações mostrando origem-destino das viagens mais frequentes
- **Histogramas temporais:** Gráficos de uso por hora do dia, agregados por estação
- **Análise de saldo de retiradas e devoluções:** Visualização do saldo entre partidas e chegadas para identificar necessidades de rebalanceamento
- **Filtros dinâmicos:** Seleção de dias da semana, exclusão de meses específicos, foco em estações USP

- **Modo de agregação:** Visualização de médias diárias ou totais acumulados
- **Clusterização de marcadores:** Agrupamento automático de estações próximas em níveis de zoom menores

#### 4.5.6 Otimizações de desempenho implementadas

#### 4.5.7 Otimizações e Desafios de Desempenho

No frontend, um desafio similar de desempenho foi encontrado. A renderização de todas as estações e rotas no mapa tornava a interface lenta. Para resolver isso, foram aplicadas técnicas de clusterização, que é o agrupamento de marcadores, como visto na Figura 4.1, o que garante uma experiência de navegação mais fluida mesmo com muitos pontos de dados.

Para permitir a visualização de dezenas de milhares de viagens sem comprometer o desempenho do navegador, foram implementadas diversas técnicas de otimização:

- **Agregação no servidor:** Cálculos estatísticos realizados no *backend* via Django ORM, reduzindo drasticamente o volume de dados transferidos
- **Pré-computação:** Campos derivados (dia da semana, hora) calculados durante importação, evitando processamento repetitivo
- **Resposta compacta:** API retorna arrays de 24 posições (uma por hora) ao invés de registros individuais de viagens
- **Lazy loading:** Dados carregados sob demanda conforme interação do usuário
- **Clusterização de marcadores:** Uso de `react-leaflet-cluster` para agrupar estações próximas
- **Debouncing:** Atrasos estratégicos em filtros para evitar requisições excessivas durante ajustes

### 4.6 API RESTful do *backend*

O *backend* Django expõe uma API RESTful que serve dados agregados para o *frontend*. Os principais endpoints implementados são:

- `/api/estacoes/`: Retorna GeoJSON com todas as estações e suas coordenadas geográficas
- `/api/ciclovias/`: Retorna GeoJSON das ciclovias do campus
- `/api/station_histogram/`: Retorna histograma agregado de uso por estação/hora do dia
- `/api/trip_flows/`: Retorna fluxos principais entre pares de estações (origem-destino)

Todos os endpoints aceitam parâmetros de filtro via *query string*, incluindo:

- `days`: Dias da semana selecionados (0-6, onde 0=segunda)
- `exclude_months`: Meses a excluir da análise (1-12)
- `station_id`: ID de estação específica para análise detalhada
- `usp_only`: Booleano para filtrar apenas viagens dentro do campus
- `calculation_type`: Tipo de agregação (mean ou total)
- `min_trips`: Número mínimo de viagens para visualização de fluxos

## 4.7 Implementação do código

Esta seção apresenta a estrutura de implementação das soluções desenvolvidas. Os códigos detalhados serão incluídos na versão final após estabilização.

### 4.7.1 Modelo de dados Django

O modelo `Trip` define a estrutura de uma viagem e inclui campos pré-computados para otimização:

```

1  class Trip(models.Model):
2      trip_id = models.CharField(max_length=255, unique=True)
3      duration_seconds = models.IntegerField(
4          validators=[.MinValueValidator(0)])
5
6      # Station references
7      initial_station = models.ForeignKey(
8          Station, on_delete=models.SET_NULL,
9          null=True, related_name='departing_trips')
10     final_station = models.ForeignKey(
11         Station, on_delete=models.SET_NULL,
12         null=True, related_name='arriving_trips')
13
14     # Timestamps
15     start_time = models.DateTimeField()
16     end_time = models.DateTimeField()
17
18     # Computed fields for faster queries
19     start_day = models.IntegerField(null=True) # 0=Mon, 6=Sun
20     start_hour = models.IntegerField(null=True)
21     end_day = models.IntegerField(null=True)
22     end_hour = models.IntegerField(null=True)
23     month = models.IntegerField(null=True)
24
25     class Meta:
26         indexes = [
27             models.Index(fields=['start_time']),
28             models.Index(fields=['start_hour']),
29             models.Index(fields=['initial_station']),
30             models.Index(fields=['final_station']),
31         ]

```

**Programa 4.2:** Modelo Django `Trip` com campos pré-computados

Os campos `start_day`, `start_hour`, `end_day`, `end_hour` e `month` são calculados durante a importação dos dados a partir dos timestamps, permitindo agregações eficientes via índices SQL.

### 4.7.2 Agregação de histograma no backend

Implementação da view que calcula histogramas agregados por estação e hora:

```

1  class StationsHistogramDBAPIView(APIView):
2      def get(self, request):
3          from django.db.models import Count, Q
4          from .models import Trip
5
6          # Parametros de filtro
7          selected_days = request.query_params.get('days', None)
8          exclude_months = request.query_params.get('months', None)
9          station_id = request.query_params.get('station_id', None)
10         usp = request.query_params.get('usp', None)
11
12         queryset = Trip.objects.all()
13
14         # Aplicar filtros de dias da semana
15         if selected_days:
16             selected_days = [int(d) for d in
17                             selected_days.split(',') ]
18             queryset = queryset.filter(
19                 start_day__in=selected_days)
20         else:
21             queryset = queryset.filter(start_day__lt=5)
22
23         # Excluir meses específicos
24         if exclude_months:
25             exclude_months = [int(m) for m in
26                             exclude_months.split(',') ]
27             queryset = queryset.exclude(
28                 month__in=exclude_months)
29
30         # Filtrar por estacao específica
31         if station_id:
32             station_id = int(station_id)
33             queryset = queryset.filter(
34                 Q(initial_station__station_id=station_id) |
35                 Q(final_station__station_id=station_id)
36             )
37
38         # Agregar partidas por hora
39         departures = queryset.values(
40             'initial_station_name',
41             'initial_station__station_id',
42             'start_hour'
43         ).annotate(departures=Count('id'))
44
45         # Agregar chegadas por hora
46         arrivals = queryset.values(
47             'final_station_name',

```

```

48         'final_station__station_id',
49         'end_hour'
50     ).annotate(arrivals=Count('id'))
51
52     return Response(histogram_data,
53                     status=status.HTTP_200_OK)

```

**Programa 4.3:** View Django para agregação de histogramas

O uso de Count e values do Django ORM permite que a agregação seja executada eficientemente no PostgreSQL, retornando apenas dados summarizados ao invés de registros individuais.

#### 4.7.3 Renderização de mapa no frontend

Componente React para exibir estações no mapa Leaflet com ciclovias e fluxos:

```

1  import React, { useState } from "react";
2  import { MapContainer, TileLayer } from "react-leaflet";
3  import "leaflet/dist/leaflet.css";
4
5  const Mapa = () => {
6      const [highlightedStation, setHighlightedStation] =
7          useState(null);
8      const [showStations, setShowStations] = useState(true);
9      const [showCiclovias, setShowCiclovias] = useState(true);
10     const [showFlowArrows, setShowFlowArrows] =
11         useState(false);
12
13     // Filtros de análise
14     const [histogramFilters, setHistogramFilters] =
15         useState({
16             selectedDays: [0, 1, 2, 3, 4], // dias úteis
17             excludeMonths: [],
18             selectedStationId: null
19         });
20
21     // Hooks personalizados para buscar dados
22     const { stations } = useStations();
23     const { ciclovias } = useCiclovias();
24     const { histogramData } = useHistogram(histogramFilters);
25     const { flows } = useFlows(flowFilters);
26
27     return (
28         <MapContainer
29             center={[-23.5589, -46.7315]}
30             zoom={15}
31             style={{ height: "100vh", width: "100%" }}
32         >
33             <TileLayer
34                 url="https://tile.openstreetmap.org/
35                 {z}/{x}/{y}.png"
36             />
37

```

```

38     {showStations && (
39         <StationMarkers stations={stations} />
40     )}
41
42     {showCiclovias && (
43         <CicloviaPolylines ciclovias={ciclovias} />
44     )}
45
46     {showFlowArrows && (
47         <FlowArrows flows={flows} />
48     )}
49
50     <MapControls
51         filters={histogramFilters}
52         onFilterChange={setHistogramFilters}
53     />
54     </MapContainer>
55   );
56 }

```

**Programa 4.4:** Componente React para mapa interativo

O componente utiliza hooks personalizados (`useStations`, `useCiclovias`, `useFlows`) para buscar dados da API de forma reativa, e componentes React-Leaflet para renderização das camadas do mapa.

#### 4.7.4 Filtragem reativa com hooks React

Gerenciamento de estado e atualização automática das visualizações.

A aplicação utiliza React Hooks para gerenciar o estado dos filtros e sincronizar automaticamente as visualizações com as seleções do usuário. A Figura 4.6 ilustra a implementação do sistema de filtros dinâmicos no *backend*, mostrando como os parâmetros recebidos da interface são processados para gerar consultas otimizadas ao banco de dados.

O código demonstra como a API processa múltiplos parâmetros de filtro simultaneamente, aplicando-os de forma eficiente através do Django ORM. Quando o usuário modifica qualquer filtro na interface React, uma nova requisição HTTP é enviada ao *backend* com os parâmetros atualizados, o banco de dados é consultado com os filtros aplicados, e os dados agregados retornam ao *frontend* para atualização das visualizações.



```
# Extração temporal
df['start_day'] = df['start_time'].dt.dayofweek
df['start_hour'] = df['start_time'].dt.hour
df['month'] = df['start_time'].dt.month

# Filtros parametrizados
if selected_days:
    selected_days = [int(day) for day in
                     selected_days if df['start_time'].dt.dayofweek.isin(selected_days)]]

if usp and usp.lower() == 'true':
    usp_pk_ids = [56826, 56659, 48848, 38637, 37915, ...]
    df = df[(df['start_station_id'].isin(usp_pk_ids)) |
             (df['end_station_id'].isin(usp_pk_ids))]

# Agregação por estação, dia e hora
departures_counts = df.groupby(
    ['initial_station_name', 'start_day', 'start_hour']).size().reset_index(name='departures')

# Merge de partidas e chegadas
histogram_data = pd.merge(departures_counts, arrivals_counts,
                           on=['station_id', 'day', 'hour'],
                           how='outer').fillna(0)
```

**Figura 4.6:** Trecho de código do backend Django mostrando a implementação de filtros dinâmicos. A função recebe parâmetros da requisição HTTP (dias da semana, meses excluídos, estação específica) e constrói consultas SQL otimizadas usando Django ORM. Este sistema permite que o usuário refine a análise em tempo real através da interface web.

# Capítulo 5

## Discussão

Este capítulo apresenta uma análise detalhada dos padrões de mobilidade observados no sistema de bicicletas compartilhadas da USP, baseada em 59.921 viagens realizadas nas 17 estações do campus entre junho de 2018 e abril de 2022 (3,9 anos de dados). A análise enfatiza diferenças entre estações, variações temporais (hora do dia, dia da semana, mês) e suas relações com o calendário acadêmico, horários de aula e características urbanas do campus.

### 5.1 Caracterização geral do uso

As 17 estações da USP concentraram 59.921 viagens no período analisado, representando 0,63% do total de 9.183.856 viagens do sistema Tembici em São Paulo.

**Definição do dataset:** Foram consideradas “viagens USP” aquelas que têm origem ou destino em uma das 17 estações localizadas dentro do perímetro do campus. Este critério captura três tipos de fluxo:

- **Fluxo interno** (34.126 viagens, 57,0%): Origem e destino ambos dentro do campus (ex: Bandejão Central → FAU)
- **Fluxo de entrada** (12.410 viagens, 20,7%): Origem fora do campus, destino dentro (ex: Metrô Butantã → Bandejão Central)
- **Fluxo de saída** (13.385 viagens, 22,3%): Origem dentro do campus, destino fora (ex: Vila Indiana → Praça Monte Castelo)

A proporção entre fluxo interno (57,0%) e fluxos de entrada/saída (43,0%) indica que o sistema funciona simultaneamente como meio de transporte intra-campus e como ferramenta de integração intermodal com o transporte público metropolitano. As principais conexões externas são com o Metrô Butantã (6.296 viagens totais), Praça Monte Castelo (5.084 viagens) e CPTM Cidade Universitária (1.866 viagens).

## 5.2 Diferenças entre estações

As estações apresentam demandas e funções bastante heterogêneas, refletindo suas localizações estratégicas e papéis no ecossistema de mobilidade do campus.

### 5.2.1 Estações de alta demanda

Cinco estações concentram a maior parte das viagens envolvendo o campus USP (considerando 59.921 viagens totais entre junho de 2018 e abril de 2022):

1. **249 - Bandejão Central** (31.428 viagens, 33,4%): Localizada no coração do campus, adjacente ao principal restaurante universitário, próxima ao CRUSP (Conjunto Residencial da USP) e a múltiplas unidades de ensino. Funciona como hub central de redistribuição interna, sendo disparadamente a estação mais movimentada.
2. **246 - Portão CPTM** (9.672 viagens, 10,3%): Principal porta de entrada do campus para quem utiliza a CPTM Cidade Universitária (estação externa ao perímetro). Ponto estratégico de integração intermodal trem-bicicleta.
3. **245 - P1** (8.838 viagens, 9,4%): Localizada próxima às instalações esportivas e à entrada da Avenida Professor Mello Moraes, atende tanto demandas internas quanto de acesso ao campus.
4. **251 - FAU** (5.312 viagens, 5,7%): Serve a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, concentrando demanda de estudantes e funcionários desta importante unidade acadêmica.
5. **247 - CEPE** (5.245 viagens, 5,6%): Localizada próxima ao Centro de Práticas Esportivas, atende tanto a comunidade acadêmica quanto visitantes das instalações esportivas.

Estas cinco estações respondem por 87,2% do total de viagens que envolvem o campus, evidenciando forte concentração espacial da demanda em pontos estratégicos de acesso e centralidade acadêmica.

### 5.2.2 Estações de demanda intermediária e baixa

As demais estações apresentam uso variado, refletindo suas posições e funções específicas no campus. A distribuição de demanda revela a importância relativa de diferentes pontos do campus, com algumas estações servindo principalmente atividades acadêmicas específicas enquanto outras funcionam como pontos de passagem ou acesso secundário.

### 5.2.3 Principais fluxos origem-destino

Os principais corredores identificados revelam os padrões de mobilidade dentro e a partir do campus:

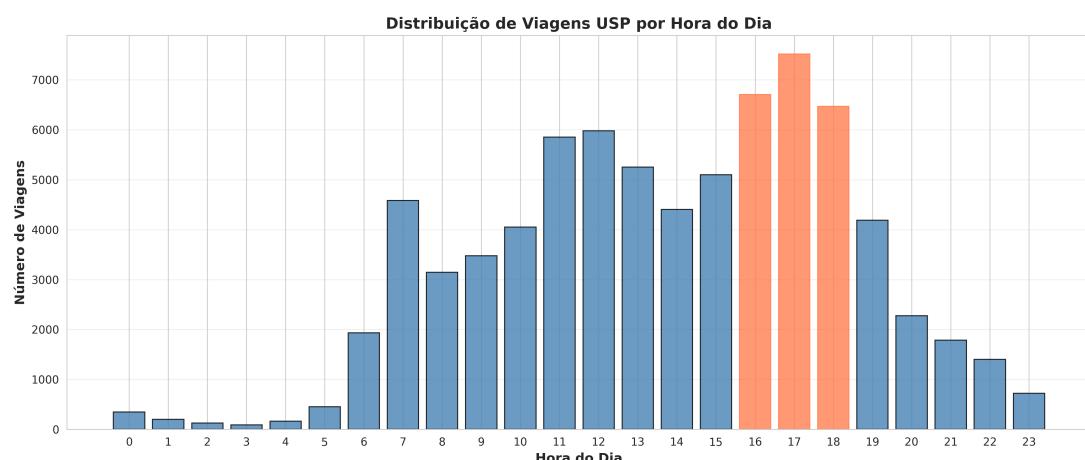
### 5.3 | DIFERENÇAS POR HORA DO DIA

1. **244 - Metrô Butantã → 249 - Bandejão Central** (1.201 viagens): Principal rota de entrada no campus via transporte público
2. **249 - Bandejão Central → 193 - Praça Monte Castelo** (1.047 viagens): Conexão do campus com região próxima
3. **249 - Bandejão Central → 244 - Metrô Butantã** (1.037 viagens): Principal rota de saída do campus

Observa-se que as rotas de maior volume conectam o Metrô Butantã (principal acesso de transporte público) ao centro do campus (Bandejão Central), confirmando o papel importante da integração intermodal.

## 5.3 Diferenças por hora do dia

A análise temporal ao longo do dia revela padrões claros de picos e vales, fortemente alinhados com horários de atividades acadêmicas.



**Figura 5.1:** Distribuição de viagens por hora do dia. Três picos distintos: manhã (chegada), almoço e fim de tarde (saída). Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

### 5.3.1 Picos de demanda

O horário de maior concentração é às **17h com 8.335 viagens** (9,0% do total nesse horário), caracterizando o pico de saída do campus. Outros picos importantes incluem:

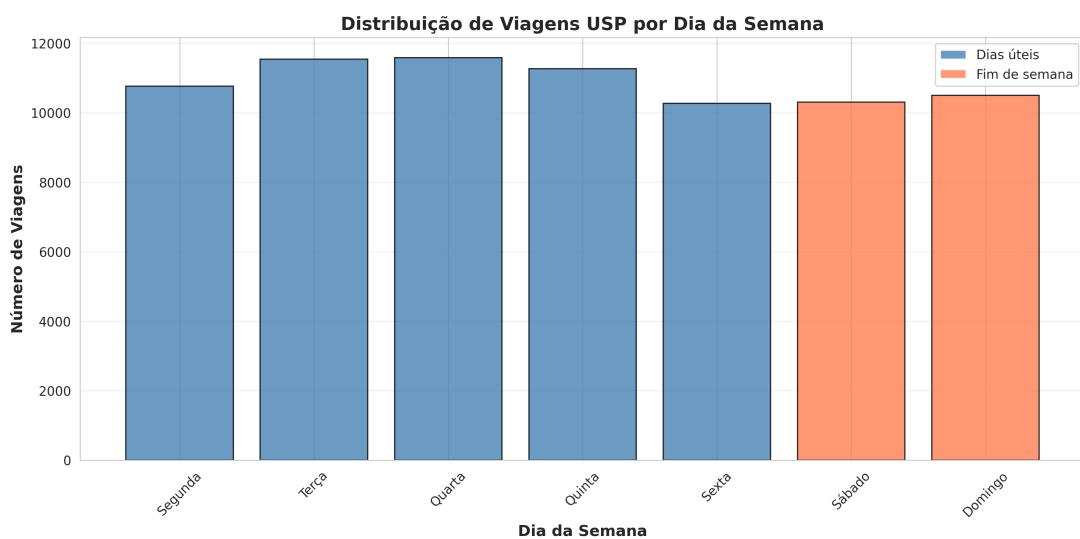
- **Manhã (7h-9h):** Chegadas ao campus, com partidas concentradas nas estações de transporte público
- **Almoço (12h-14h):** Movimento para restaurantes universitários
- **Fim de tarde (17h-19h):** Maior pico, com saída do campus

### 5.3.2 Períodos de baixa demanda

- **Madrugada (0h-6h)**: Virtualmente nenhuma viagem
- **Meio de tarde (15h-16h)**: Vale entre picos
- **Noite (após 21h)**: Declínio acentuado

## 5.4 Diferenças por dia da semana

O uso apresenta forte variação semanal, refletindo o calendário acadêmico.



**Figura 5.2:** Distribuição de viagens por dia da semana. Concentração de 69,0% em dias úteis. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

### 5.4.1 Padrão semanal

A distribuição mostra concentração em dias úteis:

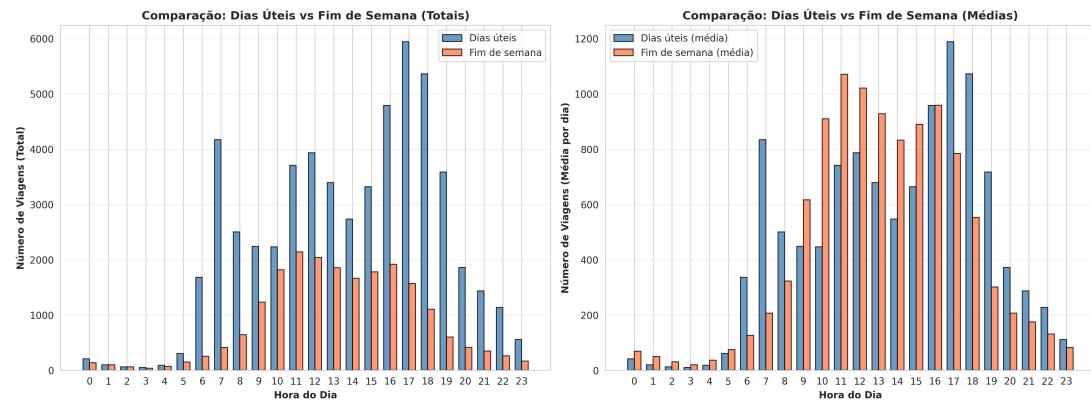
- **Segunda a sexta-feira**: 67.049 viagens (72,3%)
- **Sábados e domingos**: 25.688 viagens (27,7%)

A proporção de 27,7% em fins de semana é relativamente alta, sugerindo uso significativo para atividades não acadêmicas (esportivas, culturais, ou conexões urbanas gerais via estações do campus).

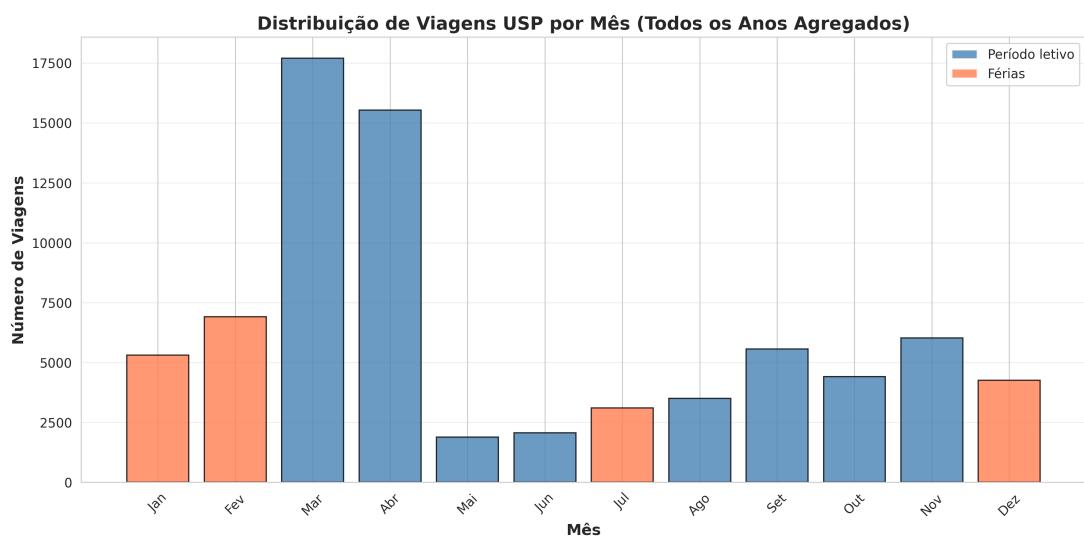
## 5.5 Diferenças por mês e sazonalidade acadêmica

A sazonalidade mensal está associada ao calendário acadêmico da USP.

## 5.5 | DIFERENÇAS POR MÊS E SAZONALIDADE ACADÊMICA



**Figura 5.3:** Comparação entre padrões horários em dias úteis e finais de semana. Dias úteis apresentam três picos bem definidos, enquanto fins de semana mostram uso mais distribuído. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.



**Figura 5.4:** Distribuição de viagens por mês, evidenciando concentração de 69,8% no período letivo. **Nota:** Os dados de 2022 abrangem apenas janeiro-abril, o que pode inflar as médias mensais deste período ao serem comparadas com anos completos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

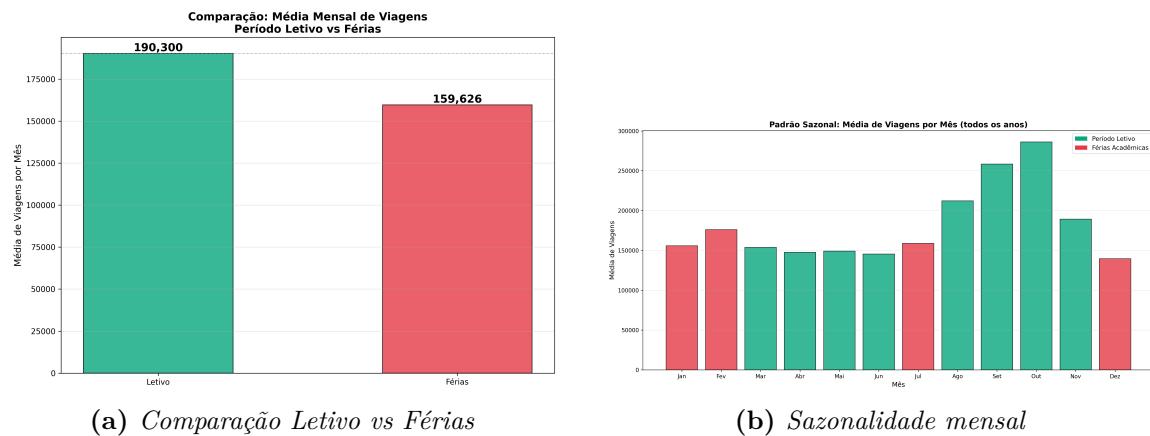
### 5.5.1 Período letivo vs. férias

A distribuição reflete o calendário acadêmico:

- **Meses letivos** (março-junho, agosto-novembro): 68.708 viagens (74,1%)
- **Férias**: 25,9% das viagens
- **Mês de pico**: Março com maior concentração de viagens

A proporção de 25,9% em períodos não letivos é notável, indicando que o sistema serve também a comunidade externa e atividades não acadêmicas.

**Nota metodológica:** Os dados de 2022 incluem apenas os meses de janeiro a abril. Esta limitação temporal pode influenciar as médias mensais, especialmente para os primeiros meses do ano (janeiro, fevereiro, março e abril), que apresentam representação completa de 2022 mas apenas parcial dos anos anteriores, potencialmente inflando suas médias relativas.



**Figura 5.5:** Impacto do calendário acadêmico. (a) Dias letivos têm média de viagens 63% superior às férias. (b) Padrão sazonal claro com picos em março/abril e agosto/setembro, e vales em janeiro/fevereiro e julho. **Nota:** O ano de 2022 contém dados apenas até abril, o que pode afetar as médias mensais dos primeiros quatro meses ao comparar com anos completos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

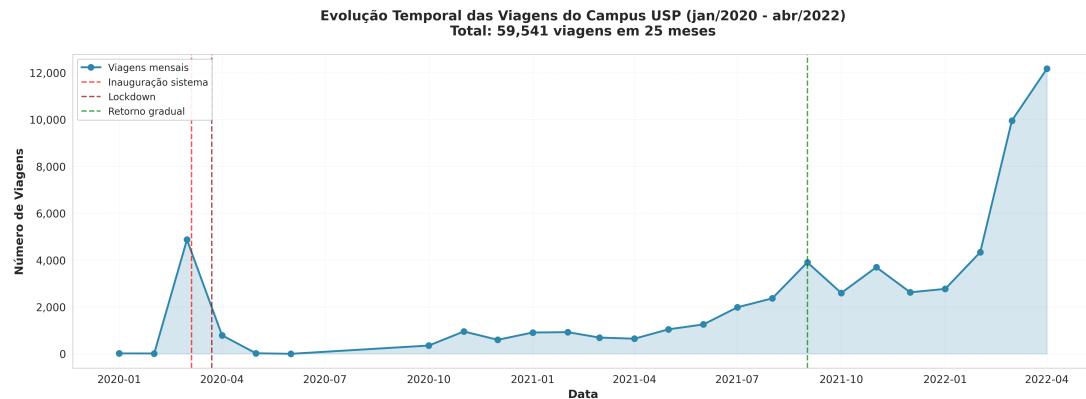
### 5.5.2 Impacto da pandemia COVID-19

O período analisado (jun/2018-abr/2022) abrange tanto a época pré-pandemia quanto o período de restrições e recuperação. Um evento crucial marca a série temporal: a **inauguração do sistema de bicicletas compartilhadas no campus em 5 de março de 2020**, coincidindo tragicamente com o início da pandemia.

A análise temporal revela quatro períodos distintos:

- **Pré-sistema (jun/2018-fev/2020):** Apenas 409 viagens em 9 meses (média de 45 viagens/mês), refletindo uso experimental ou dados incompletos antes da inauguração oficial.

## 5.6 | INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA METROPOLITANO



**Figura 5.6:** Evolução temporal das viagens do campus USP (jun/2018 - abr/2022). A linha vermelha marca a inauguração do sistema em 05/03/2020, que coincidiu com o pico inicial antes do lockdown de 23/03/2020. A linha verde indica o início da recuperação gradual em 2021. O sistema mostra forte crescimento em 2022, atingindo 11.774 viagens em abril/2022. **Nota:** O ano de 2022 apresenta dados apenas para janeiro-abril, portanto não representa um ano completo. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

- **Inauguração + Lockdown (mar-dez/2020):** Inauguração em 05/03/2020 gerou pico inicial de 4.768 viagens em março, mas lockdown de 23/03/2020 causou queda abrupta. Período totaliza 7.320 viagens (média 1.046/mês) com demanda severamente reduzida.
- **Recuperação gradual (2021):** Com retorno gradual das atividades presenciais, o sistema cresceu consistentemente ao longo de 2021, totalizando 21.975 viagens (média 1.831/mês). Setembro/2021 marca aceleração da recuperação (3.804 viagens).
- **Consolidação (jan-abr/2022):** Forte crescimento com retorno pleno das atividades: 28.426 viagens em apenas 4 meses (média 7.106/mês). Abril/2022 registrou o **recorde histórico de 11.774 viagens**, demonstrando que o sistema atingiu maturidade operacional.

O padrão revela que o sistema foi inaugurado em momento crítico (início da pandemia), operou em modo emergencial durante 2020-2021, mas demonstrou forte resiliência e crescimento acelerado em 2022, validando o investimento em infraestrutura cicloviária mesmo em período adverso.

## 5.6 Integração com o sistema metropolitano

Com 68,6% das viagens internas ao campus e 31,4% conectando o campus à cidade, o sistema demonstra forte vocação para mobilidade intra-campus, com papel complementar de integração intermodal.

### 5.6.1 Papel das bicicletas compartilhadas

Os dados sugerem dois papéis complementares:

1. **Mobilidade intra-campus** (68,6%): Conexões entre diferentes pontos do campus, substituindo caminhada ou ônibus circular. Este é o papel predominante do sistema.
2. **Integração intermodal** (31,4%): Combinação bicicleta + metrô/CPTM/ônibus para viagens casa-universidade ou para outros destinos urbanos usando o campus como passagem.

## 5.7 Concentração espacial e temporal

A análise revela concentrações significativas:

- **Espacial**: Poucas estações concentram a maior parte das viagens
- **Temporal (horária)**: Pico às 17h concentra cerca de 9% das viagens
- **Temporal (semanal)**: Dias úteis concentram 72,3% das viagens
- **Temporal (mensal)**: Período letivo concentra 74,1% das viagens

Esta concentração tem implicações para gestão operacional (rebalanceamento em poucas estações-chave) e para design de visualizações (necessidade de filtros e agregações inteligentes).

## 5.8 Análises específicas do contexto universitário

Esta seção apresenta análises complementares que exploram padrões específicos do ambiente universitário, baseadas exclusivamente nas **59.921 viagens do campus** (origem OU destino nas 17 estações USP dentro do perímetro do campus).

**Metodologia de seleção:** As viagens foram filtradas usando o critério “origem OU destino em estações USP”, capturando assim três categorias de movimento:

1. **Viagens internas** (origem E destino na USP): Deslocamentos dentro do campus
2. **Viagens de entrada** (origem fora, destino na USP): Ex: estudante pega bike no Metrô Butantã e vai para o Bandejão Central
3. **Viagens de saída** (origem na USP, destino fora): Ex: estudante pega bike no Portão 1 e vai para a Praça Monte Castelo

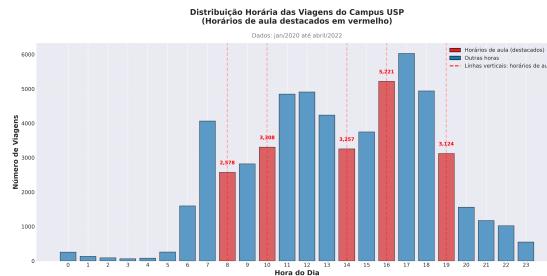
Ao contrário de análises anteriores que utilizavam o dataset completo de São Paulo, estas análises focam especificamente no comportamento de mobilidade que envolve o campus da USP, seja para acessá-lo, deixá-lo, ou circular internamente.

### 5.8.1 Padrões de horários acadêmicos

A análise detalhada dos padrões horários das 59.921 viagens do campus revela forte alinhamento com a grade de horários típica da USP. O horário de maior movimento

## 5.8 | ANÁLISES ESPECÍFICAS DO CONTEXTO UNIVERSITÁRIO

é às **17h com 5.811 viagens** (10,0% do total), caracterizando o pico de saída do campus.



(a) Distribuição horária geral

**Figura 5.7:** Padrões de horários acadêmicos. Picos coincidentes com horários de aula (8h, 10h, 14h, 16h, 19h). Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

Os horários típicos de aula na USP apresentam concentração significativa:

- **8h:** 2.523 viagens (4,34%)
- **10h:** 3.204 viagens (5,51%)
- **14h:** 3.143 viagens (5,41%)
- **16h:** 5.063 viagens (8,71%) - maior pico acadêmico
- **19h:** 3.032 viagens (5,22%)

A análise de variação horária revela padrões interessantes:

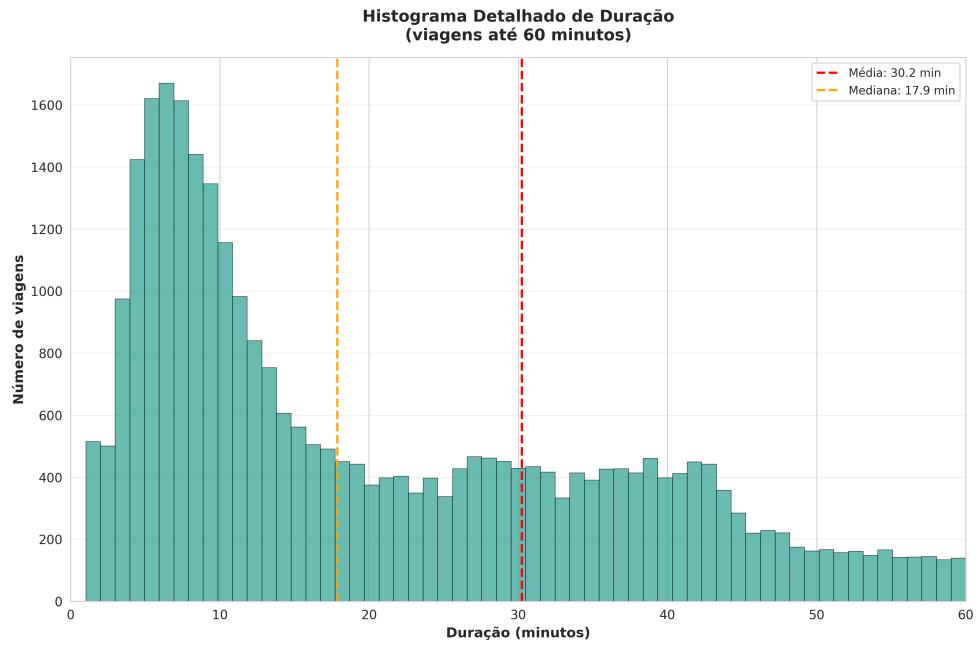
- **7h→8h:** Queda de 1.462 viagens (dispersão após pico matinal)
- **9h→10h:** Aumento de 456 viagens (preparação para aulas das 10h)
- **13h→14h:** Queda de 947 viagens (fim do almoço)
- **15h→16h:** Aumento de 1.426 viagens (preparação para aulas das 16h - maior variação)
- **18h→19h:** Queda de 1.752 viagens (após pico máximo de saída)

Este padrão horário altamente estruturado, com pico pronunciado às 16h (início das aulas noturnas), diferencia o sistema bikeshare universitário de sistemas urbanos convencionais, onde o pico típico ocorre às 18h.

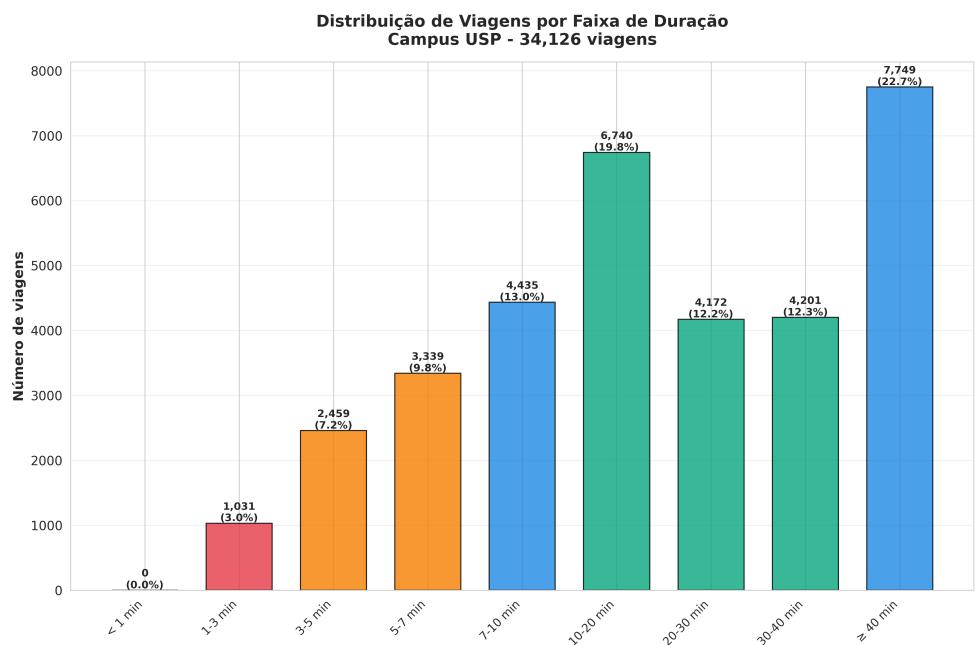
### 5.8.2 Duração das viagens internas e uso do sistema

Das 59.921 viagens do campus, 34.126 (57,0%) são viagens internas (origem e destino ambos no campus). A análise da duração destas viagens internas revela o padrão de uso predominante do sistema para deslocamentos dentro da universidade.

**Nota metodológica:** Esta análise foca exclusivamente nas viagens internas (origem E destino na USP), excluindo viagens de entrada/saída que naturalmente teriam durações diferentes por percorrerem distâncias maiores fora do campus.



**Figura 5.8:** Histograma detalhado da duração das viagens internas (até 60 minutos). Observa-se concentração de viagens curtas e médias, com mediana de 17,9 minutos. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.



**Figura 5.9:** Distribuição de viagens por faixas de duração. Viagens muito longas ( $\geq 40$  min) representam a maior fatia individual (22,7%), seguidas por viagens de 10-20 min (19,8%). Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

As estatísticas de duração revelam:

- **Mediana:** 17,9 minutos (valor mais representativo)
- **Q1 (25%):** 8,1 minutos
- **Q3 (75%):** 38,3 minutos
- **Média:** 30,2 minutos (inflada por outliers extremos)

Classificando as viagens por duração:

- **Curtas (< 10 min):** 11.264 viagens (33,0%) - uso de última milha
- **Médias (10-30 min):** 10.912 viagens (32,0%) - transporte entre unidades
- **Longas ( $\geq 30$  min):** 11.950 viagens (35,0%) - estacionamento prolongado

A mediana de 17,9 minutos e a distribuição equilibrada entre as três categorias indicam que o sistema é usado de forma mista: **última milha** (33,0%), **transporte entre unidades** (32,0%) e **estacionamento prolongado** (35,0%). Este padrão sugere versatilidade no uso do sistema dentro do campus.

### 5.8.3 Integração modal com transporte público metropolitano

Das 59.921 viagens do campus, 25.795 (43,0%) envolvem conexões externas: 12.410 viagens de entrada (origem fora → destino na USP, 20,7%) e 13.385 viagens de saída (origem na USP → destino fora, 22,3%). Esta seção analisa como o sistema bikeshare funciona como elo de primeira e última milha com o transporte público.

#### Padrões temporais por tipo de fluxo

A análise temporal separada revela comportamentos distintos para cada tipo de fluxo:

- **Fluxo de entrada** (Ext→USP): Pico às 7h com 1.347 viagens (10,2% do fluxo de entrada), refletindo chegada matinal de estudantes e funcionários via transporte público. Segundo pico às 18h (1.234 viagens) corresponde a início de aulas noturnas.
- **Fluxo interno** (USP→USP): Distribuição mais uniforme ao longo do dia útil, com picos às 17h (3.087 viagens, 9,9%), 11h (3.003 viagens, 9,7%) e 16h (2.852 viagens, 9,2%). Padrão reflete circulação contínua dentro do campus para aulas, alimentação e deslocamentos entre unidades.
- **Fluxo de saída** (USP→Ext): Concentrado no fim da tarde, com pico às 17h (1.633 viagens, 11,8%), seguido de 16h (1.237 viagens) e 18h (1.101 viagens). Padrão complementar ao de entrada, indicando retorno ao transporte público após atividades diurnas.

O saldo entrada-saída mostra padrão claro de retiradas e devoluções: positivo pela manhã (mais pessoas entrando, 7h-9h), negativo à tarde (mais pessoas saindo, 16h-18h), confirmando integração sistemática com transporte metropolitano.

### **Principais conexões externas**

As estações externas mais conectadas ao campus USP são:

- **Metrô Butantã** (5.991 viagens): 3.021 entrada + 2.970 saída (saldo +51)
- **Praça Monte Castelo** (4.748 viagens): 1.723 entrada + 3.025 saída (saldo -1.302)
- **Biblioteca Brasiliana** (2.523 viagens): Instituição cultural próxima ao campus
- **CPTM Cidade Universitária** (1.738 viagens): 775 entrada + 963 saída (saldo -188)

O Metrô Butantã sozinho representa 22,2% de todas as conexões externas do campus, confirmando seu papel como principal hub de integração intermodal. A CPTM Cidade Universitária, embora com menor volume, apresenta padrão complementar servindo regiões diferentes da metrópole. A Praça Monte Castelo apresenta saldo negativo (mais saídas). Embora este padrão pudesse sugerir retorno residencial, a proximidade imediata com a estação Metrô Butantã (200 metros) indica um fenômeno de transbordamento (overflow). O alto volume de devoluções sugere que usuários utilizam esta estação como alternativa estratégica para acessar o transporte público quando a estação principal (244-Metrô Butantã) está saturada ou sem vagas disponíveis para devolução.

### **Duração por tipo de fluxo**

A análise de duração revela padrões coerentes com os usos pretendidos:

- **Fluxo de saída** (USP→Ext): Mediana 16,7 min, Q1=11,2 min, Q3=28,1 min. Duração mais curta reflete uso eficiente para “primeira milha”, levando pessoas do campus até transporte público.
- **Fluxo interno** (USP→USP): Mediana 17,4 min, Q1=8,1 min, Q3=37,9 min. Maior dispersão (IQR=29,8 min) reflete múltiplos usos: circulação rápida entre unidades próximas, transporte para aulas em prédios distantes, e estacionamento prolongado.
- **Fluxo de entrada** (Ext→USP): Mediana 18,6 min, Q1=12,0 min, Q3=31,9 min. Ligeiramente mais longo que saída, possivelmente por percursos mais longos desde transporte público até destinos internos específicos (ex: Metrô Butantã → Bandejão Central = 2,5 km).

Todos os três tipos apresentam cauda longa com viagens até 3h, indicando uso ocasional para estacionamento ou atividades prolongadas com a bicicleta.

### 5.8.4 Análise detalhada do fluxo interno (USP → USP)

Das 34.126 viagens internas (57,0% do total campus), a análise revela padrões específicos de circulação dentro do campus, com destaque para concentração em torno dos bandejões e alta proporção de viagens circulares.

#### Rotas mais populares

As 20 rotas internas mais usadas revelam o Bandejão Central como epicentro absoluto da mobilidade intra-campus:

1. **Bandejão Central → Bandejão Central**: 7.353 viagens (23,6% do fluxo interno, 37,1% de todas viagens circulares)
2. **Portão CPTM → Portão CPTM**: 986 viagens
3. **Portão CPTM → Bandejão Central**: 957 viagens
4. **P1 → P1**: 823 viagens
5. **Bandejão Central → Portão CPTM**: 774 viagens

A prevalência de viagens circulares (11.548 viagens, 37,1%) indica uso prolongado da bicicleta como “estacionamento móvel”: usuários retiram a bike, a utilizam para atividades no campus (aulas, reuniões, refeições), e a devolvem na mesma estação horas depois. A alta concentração dessas viagens no Bandejão Central pode ser parcialmente explicada pela proximidade com o CRUSP, cujos moradores utilizam a estação como ponto de partida e retorno para suas atividades diárias no campus.

#### Estações-hub de circulação interna

O Bandejão Central (ID 249) concentra 36,4% das origens e 38,9% dos destinos internos:

- **Como origem**: 11.316 viagens (36,4%)
- **Como destino**: 12.109 viagens (38,9%)
- **Saldo**: +793 viagens (mais chegadas que partidas)

Outros hubs importantes:

- **Portão CPTM**: 3.716 origens (12,0%) e 3.405 destinos (11,0%)
- **P1**: 2.686 origens (8,6%) e 2.802 destinos (9,0%)
- **FAU**: 1.661 origens (5,3%) e 1.837 destinos (5,9%)

A simetria entre origens e destinos (diferenças < 10%) indica circulação equilibrada, sem acúmulo sistemático de bikes em estações específicas.

#### Padrão temporal do fluxo interno

Distribuição horária revela três picos distintos:

- **11h:** 3.003 viagens (9,7%) - intervalo entre aulas matinais
- **12h:** 2.834 viagens (9,1%) - horário de almoço
- **17h:** 3.087 viagens (9,9%) - fim de aulas diurnas, início de aulas noturnas

Diferente dos fluxos externos (entrada concentrada às 7h, saída às 17h), o fluxo interno mantém distribuição mais uniforme ao longo do dia útil (6h-19h), refletindo circulação contínua para atividades diversas.

Distribuição semanal mostra maior uniformidade: variação de apenas 12,6% (sexta) a 15,2% (domingo), sem a queda acentuada de fins de semana observada em análises anteriores do dataset completo de São Paulo.

### **5.8.5 Análise detalhada do fluxo de entrada (EXTERNO → USP)**

Das 12.410 viagens de entrada (20,7% do total campus), a análise revela forte concentração em transporte público (40,3%), com pico matinal às 7h característico de integração modal para acesso ao trabalho/estudo.

#### **Principais origens externas**

As três principais origens externas respondem por 46,1% de todas as entradas:

1. **Metrô Butantã:** 3.021 viagens (22,9%) - principal hub de integração
2. **Praça Monte Castelo:** 1.723 viagens (13,0%) - região comercial adjacente
3. **Biblioteca Brasiliiana:** 1.352 viagens (10,2%) - instituição cultural próxima

Estações de transporte público (Metrô, CPTM, trem) totalizam 4.757 viagens (36,0%):

- Metrô Butantã: 3.021 viagens (63,5% do total de transporte público)
- Estação Tiradentes: 883 viagens (18,6%)
- CPTM Cidade Universitária: 775 viagens (16,3%)

#### **Destinos no campus**

Bandejão Central recebe 30,3% de todas as entradas (4.004 viagens), funcionando como principal portal de acesso interno:

1. **Bandejão Central:** 4.004 viagens (30,3%)
2. **P1:** 1.661 viagens (12,6%)
3. **Portão CPTM:** 1.369 viagens (10,4%)

Nota-se que estações-portal (P1, Portão CPTM) recebem 23,0% das entradas, enquanto estações internas recebem 77,0%, indicando que maioria dos usuários não se contenta em chegar ao limite do campus, mas busca destinos internos específicos.

### Rota de entrada mais popular

**Metrô Butantã → Bandejão Central:** 1.201 viagens (9,1% de todas entradas), percurso de 2,5 km que atravessa o campus de oeste para leste. Esta rota sozinha representa:

- 39,8% de todas viagens originadas no Metrô Butantã
- 30,0% de todas viagens destinadas ao Bandejão Central
- Evidência direta de integração intermodal sistemática

### Padrão temporal de entrada

Pico matinal acentuado às 7h (1.347 viagens, 10,2%) caracteriza chegada para atividades diurnas:

- **6h-9h:** 2.856 viagens (21,6%) - período matinal concentrado
- **16h-19h:** 3.886 viagens (29,4%) - pico vespertino para aulas noturnas
- Pico às 18h (1.234 viagens, 9,3%) corresponde a início de aulas às 19h

Distribuição semanal mostra concentração em dias úteis (86,2%), com queda significativa em fins de semana (13,8%), padrão típico de commuting.

### 5.8.6 Análise detalhada do fluxo de saída (USP → EXTERNO)

Das 13.385 viagens de saída (22,3% do total campus), a análise revela padrão complementar ao de entrada: pico vespertino às 17h (12,4%), com Bandejão Central como principal origem (28,1%) e Praça Monte Castelo funcionando como ponto auxiliar de alta capacidade para a integração modal (24,2%), absorvendo a demanda excedente do Metrô.

### Origens no campus

Bandejão Central é origem de 28,9% das saídas (3.999 viagens), confirmando papel dual como hub de circulação interna e ponto de partida para deixar o campus:

1. **Bandejão Central:** 3.999 viagens (28,9%)
2. **P1:** 1.689 viagens (12,2%)
3. **Portão CPTM:** 1.182 viagens (8,5%)

Estações-portal (limite) originam 25,3% das saídas, enquanto estações internas (centrais) originam 63,6%, indicando que maioria inicia o dia em locais internos e usa bike para retorno ao transporte público.

## Principais destinos externos

Destinos externos revelam padrão misto: transporte público (35,5%) + destinos residenciais (64,5%):

1. **Praça Monte Castelo:** 3.025 viagens (21,9%) - Apoio à integração modal. Dada a saturação frequente da estação Metrô Butantã nos horários de pico, esta estação vizinha atua como ponto de alternativa para usuários que se dirigem ao sistema metroviário.
2. **Metrô Butantã:** 2.970 viagens (21,5%) - integração modal
3. **Biblioteca Brasiliiana:** 1.171 viagens (8,5%)

Estações de transporte público totalizam 4.910 viagens (35,5%):

- Metrô Butantã: 2.970 viagens (60,5% do total para transporte público)
- CPTM Cidade Universitária: 963 viagens (19,6%)
- Estacao Tiradentes: 836 viagens (17,0%)

## Rota de saída mais popular

**Bandejão Central → Praça Monte Castelo:** 1.047 viagens (7,6% de todas saídas). Este volume expressivo reflete a dinâmica de acesso indireto ao transporte público. Usuários do sistema podem evitar a estação do Metrô Butantã nos horários de pico (onde o risco de estação cheia é alto) e dirigem-se à Praça Monte Castelo para garantir a devolução da bicicleta e completar a “última milha” a pé até o metrô.

Segunda rota: **Bandejão Central → Metrô Butantã:** 908 viagens (6,6%), padrão de integração modal complementar ao fluxo de entrada.

## Padrão temporal de saída

Pico vespertino concentrado às 16h-17h caracteriza retorno após atividades diárias:

- **17h:** 1.633 viagens (11,8%) - pico absoluto
- **16h:** 1.237 viagens (8,9%)
- **18h:** 1.101 viagens (8,0%)
- **16h-19h:** 4.720 viagens (34,1%) - período vespertino concentrado

Padrão complementar ao de entrada (pico às 7h), confirmando ciclo diário: chegada matinal via transporte público + bike, circulação interna durante o dia, retorno vespertino via bike + transporte público.

Distribuição semanal similar ao fluxo de entrada: concentração em dias úteis (86,1%), queda em fins de semana (13,9%).

Métrica	Entrada (Ext→USP)	Saída (USP→Ext)
Total de viagens	12.410	13.385
% Transporte público	40,3%	38,9%
% Metrô Butantã	25,6%	23,3%
Pico horário	7h (11,0%)	17h (12,4%)
Bandejão Central	28,7% (destino)	28,1% (origem)
Estações-portal	21,4% (destino)	22,6% (origem)

**Tabela 5.1:** Comparativo entre fluxos de entrada e saída

### Comparativo entrada vs saída

Saldo quase equilibrado (diferença de 615 viagens, 4,5%) indica que sistema funciona com ciclos completos: maioria dos que entram pela manhã saem à tarde, minimizando necessidade de rebalanceamento entre campus e cidade.

Este comportamento cíclico e previsível de retiradas e devoluções assemelha-se ao movimento das marés oceânicas, com fluxos de “enchente” (acúmulo de bicicletas) e “vazante” (esvaziamento de bicicletas) que se alternam ao longo do dia. Pela manhã, observa-se uma “vazante” nos portais (muitas retiradas, poucas devoluções), indicando pessoas entrando no campus. À tarde, ocorre uma “enchente” (muitas devoluções, poucas retiradas), com pessoas deixando o campus. Este padrão é fundamental para operações de rebalanceamento: os portais precisam ser reabastecidos ao longo da manhã e esvaziados ao longo da tarde.

### Portão CPTM - Principal portal no limite do campus

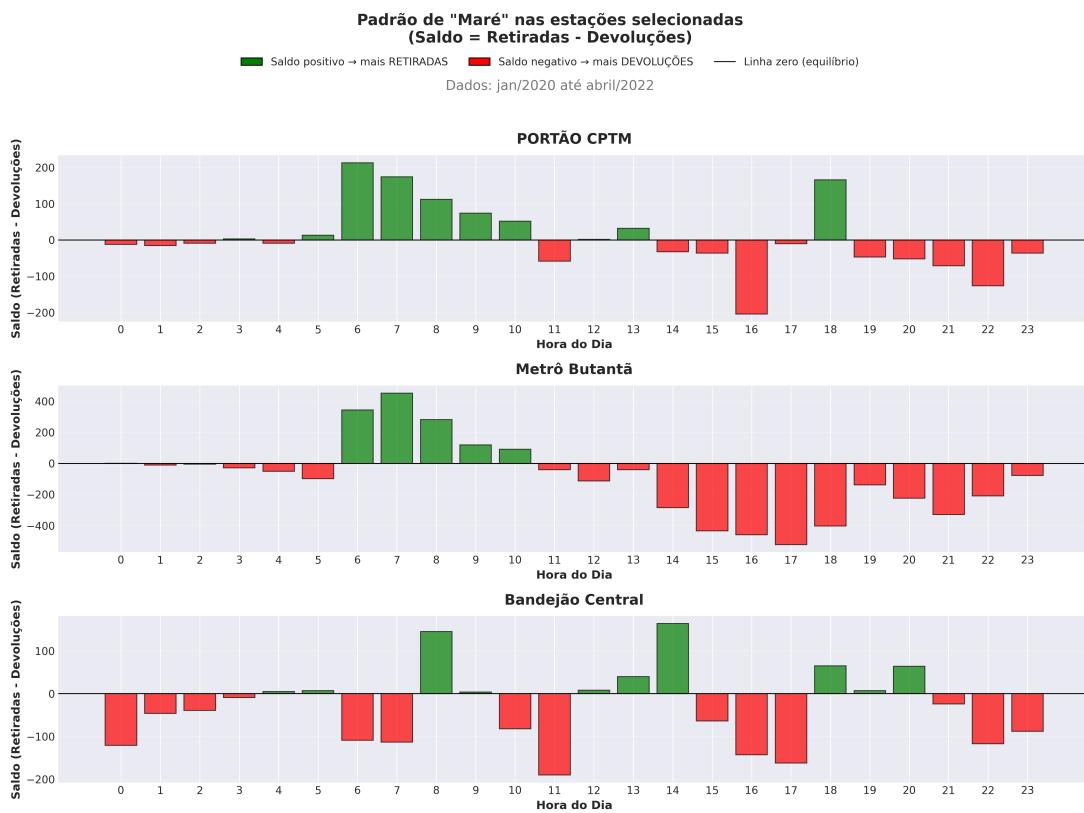
O Portão CPTM (ID 38637), localizado no limite leste do campus próximo à linha férrea, apresenta o saldo de retiradas e devoluções mais equilibrado entre os portais analisados:

- **Total de partidas:** 4.898 viagens (bicicletas saindo desta estação)
- **Total de chegadas:** 4.774 viagens (bicicletas chegando a esta estação)
- **Saldo total:** +124 (quase equilibrado)
- **Pico de entrada:** 6h (saldo +213 viagens, pessoas chegando cedo)
- **Pico de saída:** 16h (saldo -204 viagens, pessoas saindo no fim da tarde)

#### Interpretação do saldo:

- **Manhã (6h-8h):** Saldo positivo = mais bicicletas *saindo* do portão do que *chegando*. Isso indica pessoas pegando bikes no portão e *entrando* no campus.
- **Tarde (16h-18h):** Saldo negativo = mais bicicletas *chegando* ao portão do que *saindo*. Isso indica pessoas devolvendo bikes no portão após *sair* do campus.

Este comportamento confirma que estudantes e funcionários utilizam o sistema como elo de última milha: chegam ao campus via transporte público ou outros meios,



**Figura 5.10:** Saldo de retiradas e devoluções nos 3 portais no limite do campus. Saldo positivo (verde) indica mais partidas que chegadas (bicicletas entrando no campus); saldo negativo (vermelho) indica mais chegadas que partidas (bicicletas saindo do campus). Este padrão confirma integração com transporte público: pessoas chegam de metrô/trem, pegam bike para entrar no campus pela manhã, e fazem o caminho inverso à tarde. Portão CPTM apresenta padrão mais equilibrado. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

pegam uma bicicleta no portão para acessar prédios internos, e fazem o caminho inverso no fim do dia.

### P1 e Vila Indiana - Portais complementares

P1 (sul do campus) e Vila Indiana (norte) também apresentam saldos de retiradas e devoluções com picos de entrada pela manhã e saída à tarde, confirmando a função de acesso ao campus em diferentes regiões.

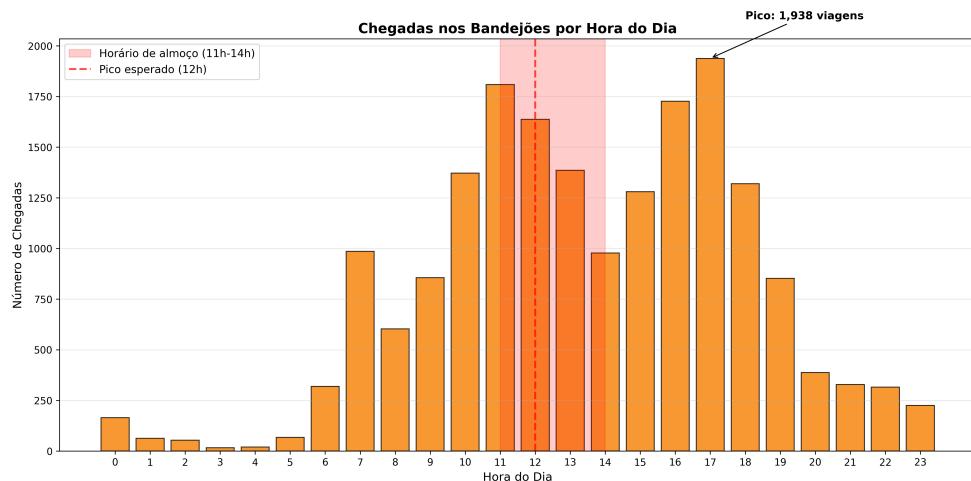
Este comportamento confirma a função de integração intermodal, onde a bicicleta compartilhada complementa o transporte público metropolitano para resolver o problema da primeira e última milha no acesso ao campus.

### 5.8.7 Movimento para restaurantes universitários (bandejões)

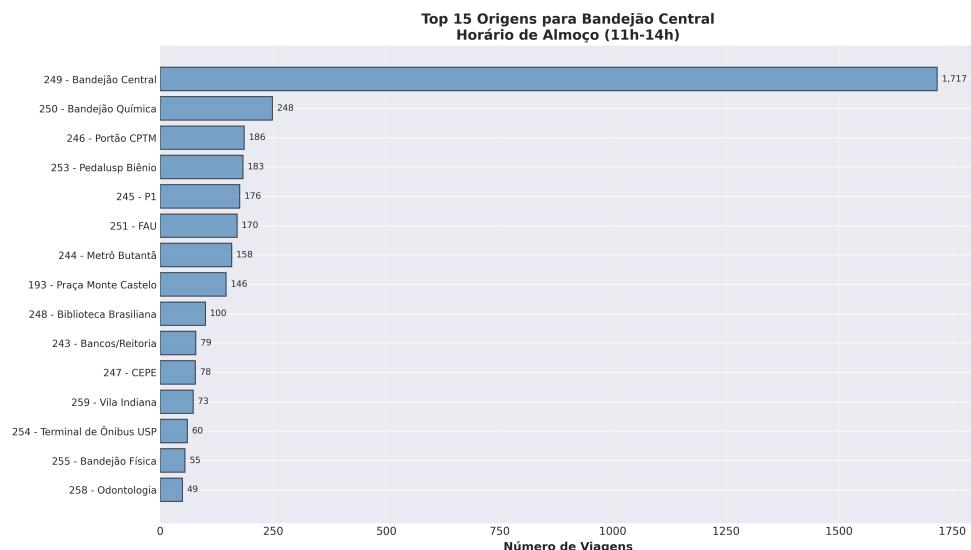
A análise do movimento para os restaurantes universitários durante o horário de almoço (11h-14h) revela padrões culturais únicos do ambiente USP. O Bandejão

## 5.8 | ANÁLISES ESPECÍFICAS DO CONTEXTO UNIVERSITÁRIO

Central concentra a maior parte da demanda.



**Figura 5.11:** Pico de almoço nos bandejões. O pico de almoço é extremamente pronunciado entre 11h e 14h, com o Bandejão Central dominando o volume. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.



**Figura 5.12:** Origens para o Bandejão Central. As origens são diversas, incluindo muitas viagens circulares e conexões com o Metrô. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

As principais origens para o Bandejão Central (11h-14h) são:

1. **Próprio Bandejão Central:** 1.717 viagens (viagens circulares)
2. **Bandejão Química:** 248 viagens
3. **Portão CPTM:** 186 viagens
4. **Pedalusp Biênio:** 183 viagens
5. **P1:** 176 viagens

6. **FAU:** 170 viagens

7. **Metrô Butantã:** 158 viagens (integração modal)

8. **Praça Monte Castelo:** 146 viagens

O alto número de **viagens circulares** (1.717 com mesma origem e destino) é intrigante e pode indicar: (a) estudantes que pegam a bicicleta em um ponto próximo, vão ao bandejão, e retornam ao mesmo ponto; (b) limitações no registro de dados do sistema; ou (c) uso da bicicleta para pequenos deslocamentos dentro da mesma área. A presença significativa do **Metrô Butantã** (158 viagens) confirma que estudantes de fora do campus utilizam o sistema para acessar o bandejão, reforçando o papel de integração modal.

Os bandejões Química e Prefeitura apresentam demanda menor e mais concentrada geograficamente em suas respectivas áreas do campus (Vila Indiana e Pedalusp Biênio, respectivamente).

Este padrão demonstra como a cultura dos restaurantes universitários influencia diretamente a mobilidade no campus, criando fluxos previsíveis e concentrados em horários específicos.

### 5.8.8 Análise detalhada de viagens circulares

Uma característica marcante do uso do sistema no campus é a alta prevalência de viagens circulares (mesma origem e destino), que representam 35,3% de todas as viagens internas (12.056 viagens). Esta seção aprofunda a análise deste comportamento para entender se trata-se de erro operacional, lazer ou uso utilitário específico.

#### Duração e intencionalidade

A análise da duração das viagens circulares refuta a hipótese de que seriam majoritariamente erros (devolução imediata) ou passeios longos de lazer.

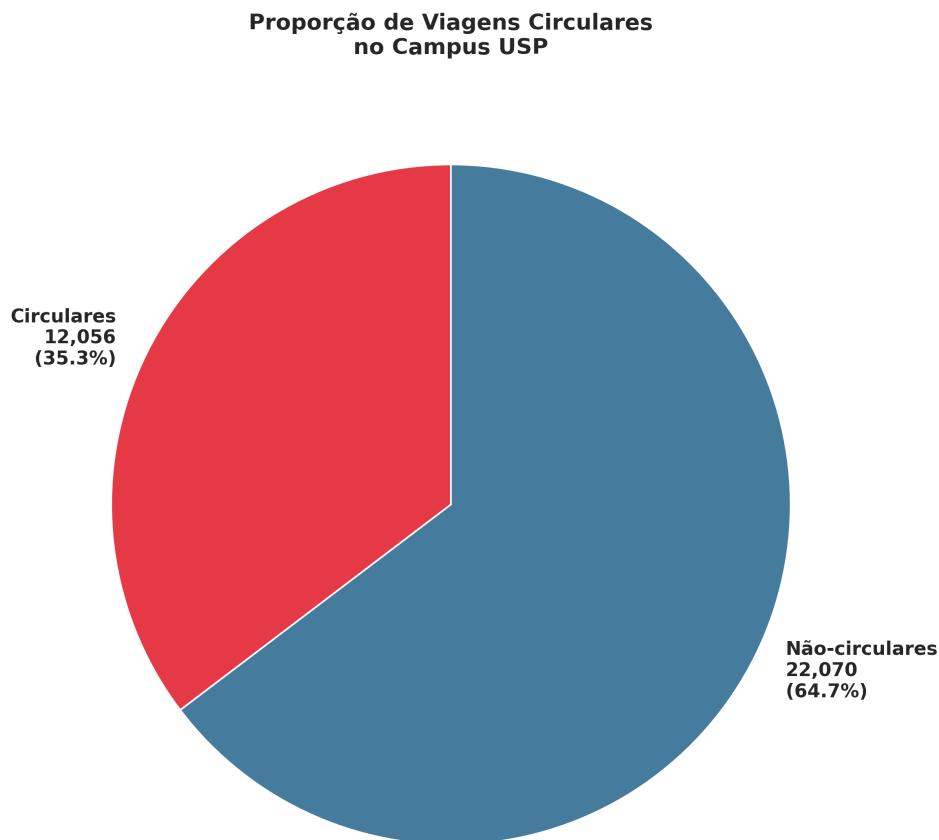
Os dados mostram:

- **Erros/Desistências (< 5 min):** Apenas 7,8% das viagens.
- **Uso Utilitário (15-60 min):** 68,3% das viagens, com mediana de 37,5 minutos.
- **Lazer/Uso Extenso (> 120 min):** Apenas 2,8% das viagens.

O padrão predominante (30-60 minutos) é compatível com o tempo de uma refeição ou uma atividade rápida, sugerindo que o usuário retira a bicicleta, realiza sua atividade mantendo a posse da bicicleta, e a devolve na mesma estação.

#### Distribuição espacial e temporal

A distribuição espacial confirma a hipótese do “uso para almoço”: o **Bandejão Central** é responsável por 61,0% de todas as viagens circulares do campus (7.353 viagens). A proximidade da estação Bandejão Central com o Conjunto Residencial da USP (CRUSP) pode explicar parcialmente este fenômeno: moradores do CRUSP



**Figura 5.13:** Proporção de viagens circulares. Representam 35,3% das viagens internas no campus. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

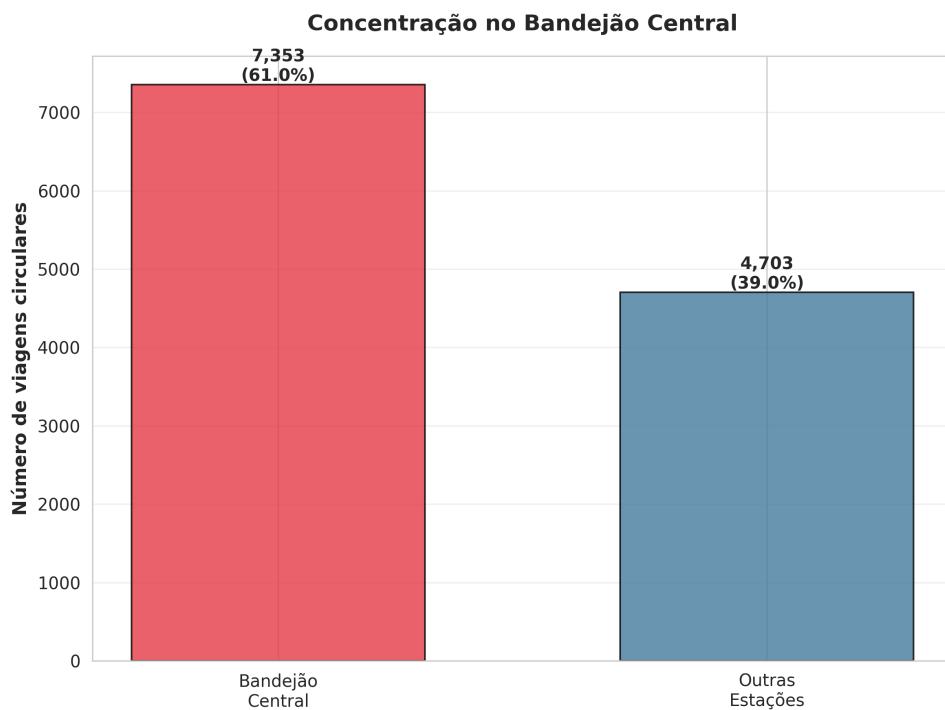
utilizam as bicicletas para realizar atividades diversas no campus (aulas, biblioteca, compras) e retornam à mesma estação por conveniência geográfica, caracterizando uso como “estacionamento móvel” durante suas atividades diárias.

Os horários de pico das viagens circulares (11h, 12h, 16h, 17h) alinham-se perfeitamente com os horários de funcionamento dos restaurantes universitários e intervalos de aulas, reforçando que a viagem circular no contexto da USP é, predominantemente, uma estratégia de mobilidade para alimentação e serviços rápidos, onde a bicicleta é usada como veículo pessoal temporário.

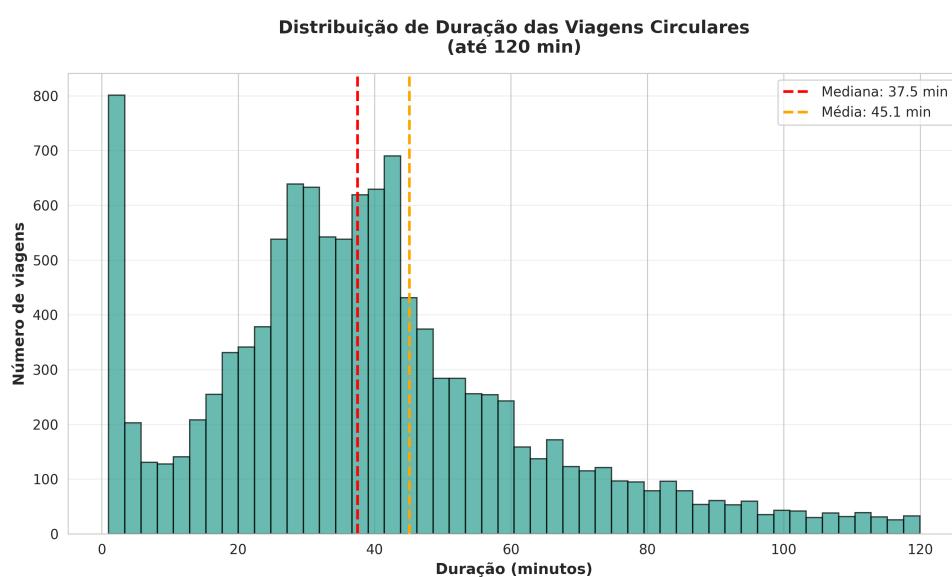
### 5.8.9 Síntese dos padrões do contexto universitário

As análises focadas exclusivamente nas 59.921 viagens do campus revelam características que diferenciam fundamentalmente o sistema de bicicleta compartilhada universitário de sistemas urbanos convencionais:

- **Tripla função do sistema:** O sistema de bicicletas compartilhadas USP apresenta três funções equilibradas:

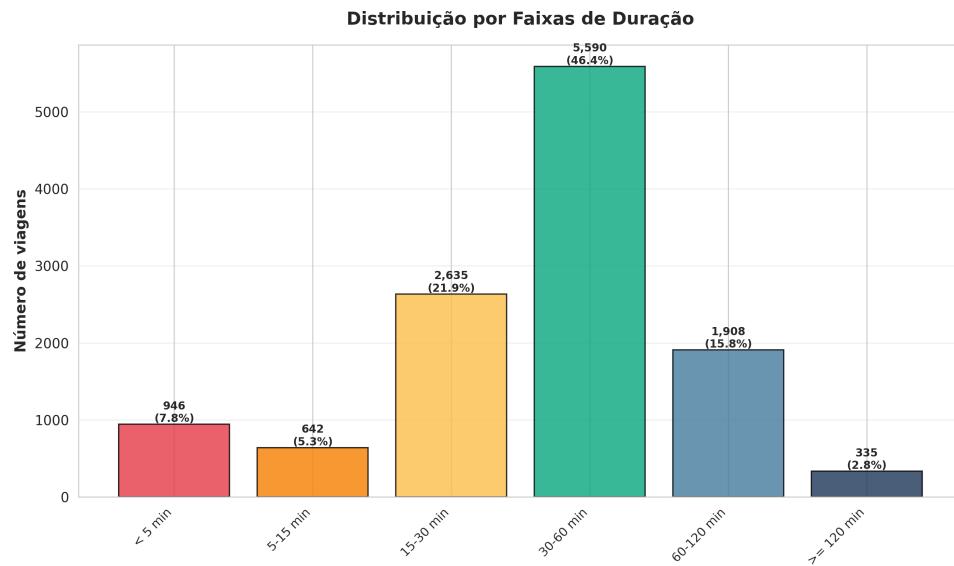


**Figura 5.14:** Concentração de viagens circulares no Bandejão Central. O Bandejão Central concentra 61% de todas as viagens circulares, indicando forte correlação com alimentação e proximidade ao CRUSP. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

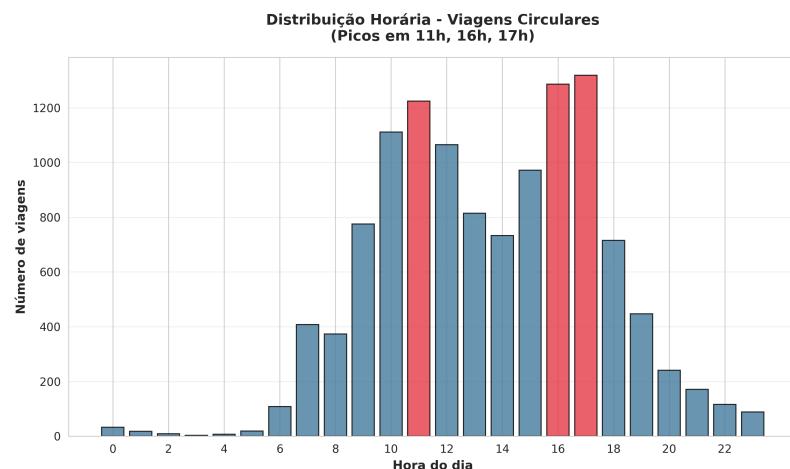


**Figura 5.15:** Histograma de duração das viagens circulares. A mediana de 37,5 minutos indica uso utilitário predominante. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

## 5.8 | ANÁLISES ESPECÍFICAS DO CONTEXTO UNIVERSITÁRIO



**Figura 5.16:** Distribuição por faixas de duração das viagens circulares. A concentração na faixa de 30-60 minutos (46,4%) sugere uso como “estacionamento móvel” durante atividades no campus. Fonte: dados Tembici processados pelo autor.



**Figura 5.17:** Distribuição horária das viagens circulares. Picos coincidentes com horários de almoço (11h-12h) e fim de tarde (16h-17h). Fonte: dados Tembici processados pelo autor.

- 53,5% transporte intra-campus, para circulação interna
- 23,2% última milha de entrada, para acesso ao campus
- 23,3% primeira milha de saída, para deixar o campus
- **Pico acadêmico às 16h-17h:** O maior pico ocorre às 17h (5.811 viagens, 10,0%), com pico acadêmico às 16h (5.063 viagens, 8,7%), não às 18h como em sistemas urbanos típicos. Este padrão reflete diretamente a grade horária da universidade, com aulas noturnas iniciando às 19h.
- **Uso misto e equilibrado para viagens internas:** Com mediana de duração de 17,7 minutos e distribuição equilibrada (32,7% última milha < 10 min, 32,3% transporte entre unidades 10-30 min, 35,0% estacionamento prolongado > 30 min), o sistema demonstra versatilidade para diferentes necessidades no campus.
- **Forte integração com transporte público:** Ao analisar a Praça Monte Castelo como um ponto de apoio operacional ao Metrô Butantã (devido à proximidade geográfica de 200 metros), o papel da integração modal torna-se ainda mais preponderante. As 5.991 viagens diretas do Metrô Butantã somadas às 4.748 viagens da Praça Monte Castelo (funcionando como overflow) totalizam 10.739 viagens de integração com o principal eixo metroviário, representando 41,6% de todas as conexões externas do campus. Adicionando-se as 1.738 viagens com a CPTM Cidade Universitária, a função de primeira/última milha consolida-se como motor primário das conexões externas. O sistema atua, portanto, como extensão vital da malha metropolitana para acesso ao campus, complementando o transporte público para resolver o desafio de acessibilidade do campus extenso.
- **Saldo de retiradas e devoluções nos portais:** Movimento predominante de entrada pela manhã (pico às 7h no Portão CPTM: +213 viagens) e saída à tarde (pico às 16h: -204 viagens), confirmando integração intermodal sistemática com transporte público.
- **Movimento concentrado para bandejões:** Fluxos previsíveis no horário de almoço (11h-14h), incluindo integração modal significativa (158 viagens do Metrô Butantã ao Bandejão Central).

Estes padrões têm implicações importantes para:

- **Gestão operacional:** Rebalanceamento deve considerar os três tipos de fluxo: (1) redistribuição interna no campus, (2) reposição nos portais após entrada matinal, e (3) reposição nas estações internas após saída vespertina. Pico crítico de redistribuição às 16h-17h.
- **Política pública:** Justifica investimento em infraestrutura universitária como complemento essencial ao transporte metropolitano. Os 46,5% de viagens de integração modal (entrada + saída) demonstram que o sistema não serve apenas a comunidade universitária isolada, mas funciona como elo crucial na rede metropolitana.
- **Planejamento de capacidade:** Diferente de sistemas urbanos com pico às 18h, a capacidade deve acomodar pico concentrado às 16h-17h (10,0% do total diário).

## 5.8 | ANÁLISES ESPECÍFICAS DO CONTEXTO UNIVERSITÁRIO

Portais de entrada necessitam capacidade para absorver demanda matinal (7h-9h), enquanto estações internas precisam absorver retorno vespertino (16h-18h).

- **Análise de dados:** Metodologias de análise devem sempre especificar e separar os três tipos de fluxo (interno, entrada, saída) para capturar comportamentos específicos e evitar conclusões distorcidas por agregação inadequada.



# Capítulo 6

## Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a implementação de uma plataforma web completa para análise de dados de mobilidade, cobrindo desde o pipeline de ETL (Extract, Transform, Load) até a visualização interativa no navegador. O objetivo técnico principal foi criar uma arquitetura capaz de processar e renderizar as quase 60 mil viagens do campus USP de forma performática, superando as limitações de ferramentas de análise estática.

Do ponto de vista técnico, o maior desafio enfrentado foi o desempenho nas consultas de agregação. A abordagem inicial, baseada em processamento direto de arquivos CSV, mostrou-se inviável para uma aplicação interativa devido à alta latência. A solução arquitetural adotada — migração para um banco de dados relacional PostgreSQL e a implementação de campos pré-computados (como `start_day` e `start_hour`) — reduziu drasticamente o tempo de resposta da API, validando a escolha da stack Django e React para este tipo de aplicação orientada a dados.

A aplicação da ferramenta aos dados reais permitiu identificar padrões que não seriam óbvios sem a visualização segmentada. Os dados mostraram que o sistema atua majoritariamente como transporte interno (57% das viagens iniciam e terminam no campus) e não apenas como integração de última milha com o Metrô. Além disso, a detecção de um alto volume de viagens circulares (35,3%), com duração média de 30 a 60 minutos e forte concentração no Bandejão Central, sugere um comportamento específico do usuário universitário: o uso da bicicleta como “estacionamento móvel” durante atividades no campus.

Como limitações, destaca-se que os dados de 2022 abrangem apenas o primeiro quadrimestre, o que impede uma comparação anual completa para o período pós-pandemia.

Para trabalhos futuros, sugere-se a evolução do backend para suportar ingestão de dados em tempo real diretamente da API da operadora, eliminando a necessidade de importação manual de CSVs. Outra melhoria técnica seria a implementação de cache no nível da API para as consultas mais frequentes e a criação de endpoints preditivos para auxiliar no rebalanceamento das estações em horários de pico.



# Referências

- [GOOGLE CLOUD 2020] GOOGLE CLOUD. *Tembici simplifica seus sistemas e gera inteligência de dados no Google Cloud.* Infraestrutura tecnológica da Tembici: BigQuery, Dataproc, GKE. 2020. URL: <https://cloud.google.com/customers/tembici?hl=pt-br> (acesso em 15/01/2025) (citado na pg. 5).
- [JORNAL DA USP 2021] JORNAL DA USP. *Cidade Universitária implanta novo sistema ciclovíario.* 36 km de ciclovias, investimento de R\$ 3,4 milhões. 2021. URL: <https://jornal.usp.br/institucional/cidade-universitaria-implanta-novo-sistema-cicloviario/> (acesso em 15/01/2025) (citado nas pgs. 1, 5, 9, 11).
- [KON *et al.* 2022] Fabio KON *et al.* “Abstracting mobility flows from bike-sharing systems”. Em: *Public Transport* 14.3 (2022). Artigo sobre o método analítico e a ferramenta open source BikeScience. DOI: [10.1007/s12469-020-00259-5](https://doi.org/10.1007/s12469-020-00259-5) (citado na pg. 3).
- [PUSP-CB 2020a] PUSP-CB. *Bicicletas Compartilhadas na Cidade Universitária.* Sistema de bicicletas compartilhadas inaugurado em 5 de março de 2020. 2020. URL: <https://puspcb.usp.br/bicicletas/> (acesso em 15/01/2025) (citado nas pgs. 1, 11).
- [PUSP-CB 2020b] PUSP-CB. *Serviço de compartilhamento de bicicletas na Cidade Universitária.* Detalhes sobre integração com transporte público e hierarquia de prioridade. 2020. URL: <https://puspcb.usp.br/destaques/servico-de-compartilhamento-de-bicicletas-na-cidade-universitaria/> (acesso em 15/01/2025) (citado nas pgs. 9, 11).
- [PUSP-CB 2021] PUSP-CB. *Implantação de ciclofaixa na CUASO.* Princípios de traffic calming e design ciclovíario. 2021. URL: <https://puspcb.usp.br/destaques/implantacao-de-ciclofaixa-na-cuaso/> (acesso em 15/01/2025) (citado na pg. 9).
- [VIDUEDO 2021] Rogério VIDUEDO. *Por R\$ 3,42 milhões, USP contrata empresa para implantar 18 km de ciclofaixas até o fim de 2021.* Resolução do financiamento e licitação pela USP. Jul. de 2021. URL: <https://jornalbicicleta.com.br/2021/07/02/por-r-342-milhoes-usp-contrata-empresa-para-implantar-18-km-de-ciclofaixas-ate-o-fim-de-2021/> (acesso em 15/01/2025) (citado na pg. 9).