

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CARLA RAMIRES DALAZOANA**

**SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTILHADAS: ESTUDO DE CASO DA  
DEMANDA NAS ESTAÇÕES E SUAS CARACTERÍSTICAS DE ENTORNO NO  
MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR**

**TOLEDO**

**2022**

**CARLA RAMIRES DALAZOANA**

**SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTILHADAS: ESTUDO DE CASO DA  
DEMANDA NAS ESTAÇÕES E SUAS CARACTERÍSTICAS DE ENTORNO NO  
MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR**

**Bicycle sharing system: demand case study of demand at the stations and  
their environment characteristics in the municipality of Cascavel - PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber.

**TOLEDO**

**2022**



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

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**CARLA RAMIRES DALAZOANA**

**SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTILHADAS: ESTUDO DE CASO DA  
DEMANDA NAS ESTAÇÕES E SUAS CARACTERÍSTICAS DE ENTORNO NO  
MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25/novembro/2022

---

Fulvio Natércio Feiber  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Silmara Dias Feiber  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sandra Magda Mattei Cardoso  
Mestrado

**TOLEDO**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre esteve comigo, por ter me proporcionado essa oportunidade, me ajudando e sustentando em todos os momentos, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Luiz e Sandra, que sempre estiveram ao meu lado. Agradeço por todo o carinho, apoio e incentivo, vocês foram essenciais para a realização dessa conquista. Amo muito vocês!

Ao meu namorado, Wender e sua família, por todo apoio e carinho, me incentivando a não desistir e perseverar até o fim.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber, pelo auxílio, compartilhando sua sabedoria e conhecimento, por todo suporte para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos e familiares, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência e por terem feito parte dessa trajetória.

A UTFPR, por ter proporcionado essa oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram na minha caminhada acadêmica até aqui. Todos vocês foram muito importantes!

## RESUMO

A mobilidade sustentável tem se tornado um fator significativo no planejamento urbano das cidades nos últimos anos, com o intuito de amenizar os impactos enfrentados na mobilidade urbana, dentre eles, o aumento nos congestionamentos, acidentes de trânsito e dificuldade na locomoção da população. Nesse contexto surge o sistema de bicicletas compartilhadas, propondo ser uma opção de meio de transporte sustentável. Muitas cidades já aderiram a esse sistema, bem como a cidade de Cascavel-PR. A implementação desse sistema visa minimizar os problemas de mobilidade urbana, como também, incentivar a prática de atividades físicas, contribuindo para o turismo e lazer de forma sustentável. Assim, esse trabalho tem como principal objetivo o estudo do sistema de compartilhamento de bicicletas do município de Cascavel-PR, a fim de identificar as características de entorno das estações que influenciam na sua demanda, através do desenvolvimento de um modelo matemático obtido pelo método da regressão linear múltipla. Os resultados demonstraram que a localização das estações, de acordo com as suas características de entorno, influencia na sua utilização pelos usuários, pode-se observar que as estações próximas a áreas verdes apresentaram maior influência na utilização das bicicletas compartilhadas. Com esse estudo de caso foi possível obter dois modelos matemáticos que possibilitaram estimar o potencial de uso de cada estação, fornecendo o número de bicicletas retiradas e devolvidas com base nos dados coletados. Com isso, as equações podem ser utilizadas para auxiliar no planejamento de implementação de novas estações, como também para estudos de novos sistemas em outras regiões.

**Palavras-chave:** mobilidade urbana; bicicletas compartilhadas; mobilidade sustentável; planejamento urbano; regressão linear múltipla.

## ABSTRACT

Sustainable mobility has become a significant factor in the urban planning of cities in recent years, intending to mitigate the impacts of mobility on society, among them, the increase in congestion, traffic accidents and difficulty in locomotion of the population. In this context, the bicycle-sharing systems emerge, proposing to be an option for sustainable transport. Many cities have already joined this system, as well as the city of Cascavel-PR. The implementation of this system aims to minimize the problems of urban mobility, as well as encourage the practice of physical activities, contributing to tourism and leisure sustainable. Thus, this work has as its main objective the study of this bicycle-sharing system, to identify the demand for bike-sharing systems with external characteristics that affect its use, through the development of a mathematical model obtained by the method of multiple linear regression. The results showed that the location of the stations, according to their environments, influences their use by users, it can be observed that the stations close to green areas had a more significant influence on the use of shared bicycles. With this case study, it was possible to obtain two mathematical models that make it possible to estimate the potential use of each station, providing the number of bicycles picked up and returned based on the data collected. Thus, the equations can help in planning the implementation of new stations and for studies of new systems in other regions.

**Keywords:** urban mobility; shared bicycles; sustainable mobility; urban planning; multiple linear regression.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Frota de automóveis por ano no Brasil .....	17
Figura 2 - Dimensões da mobilidade urbana sustentável.....	18
Figura 3 - Primeiro sistema de bicicletas compartilhadas- <i>White bikes</i> .....	21
Figura 4 - Bicicleta do programa <i>ByCyklen</i> implantado em Copenhagen (1995) .....	22
Figura 5 - Estação de bicicletas do sistema <i>Velo'v</i> em Lyon na França.....	23
Figura 6 - Bicicleta compartilhada elétrica da cidade de Rio de Janeiro .....	25
Figura 7 - Localização de Cascavel no Paraná .....	26
Figura 8 - Estação de Bicicleta compartilhada em Cascavel.....	28
Figura 9 - Localização das 8 estações de bicicleta na cidade de Cascavel .....	31
Figura 10 - Critério para a localização das estações de bicicletas .....	32
Figura 11 - Demanda por estação de bicicletas retiradas e devolvidas em um período de 12 meses.....	38
Figura 12 - Coeficiente de correlação de Pearson .....	43
Figura 13 - Comparação entre as bicicletas retiradas (dados e modelo) .....	48
Figura 14 - Comparação entre as bicicletas devolvidas (dados e modelo) .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População potencial de cada estação de acordo com a densidade .....	34
Tabela 2 – Relação dos critérios estabelecidos nas 8 estações .....	41
Tabela 3 - Verificação dos pressupostos .....	44
Tabela 4 - Estatística de regressão .....	45
Tabela 5 - Análise de variância para testar a significância da regressão .....	45
Tabela 6 - Coeficientes de regressão.....	46
Tabela 7 - Análise de variância para a demanda de bicicletas retiradas.....	47
Tabela 8 - Análise de variância para a demanda de bicicletas devolvidas.....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Nomenclatura das estações de bicicletas .....	31
Quadro 2 - Critérios a serem avaliados.....	33
Quadro 3 - Levantamentos dos pontos geradores de demanda em cada estação ...	39
Quadro 4 - Modelos de regressão linear .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPS	<i>Global Position System</i>
ITDP	Instituto De Políticas De Transporte e Desenvolvimento
PDI	Programa de Desenvolvimento Integrado
PMU	Plano de Mobilidade Urbana
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
SBC	Sistema de Bicicletas Compartilhadas

## LISTA DE SÍMBOLOS

$CO_2$

Dióxido de carbono

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Lei da Mobilidade Urbana</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Mobilidade urbana e a sustentabilidade</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 Fatores que influenciam o uso da bicicleta e suas desvantagens</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 Sistema de Bicicletas Compartilhadas</b> .....	<b>19</b>
2.4.1 Primeira geração.....	20
2.4.2 Segunda geração.....	21
2.4.3 Terceira Geração .....	22
2.4.4 Quarta Geração .....	23
2.4.5 Sistema de bicicletas compartilhadas no Brasil .....	24
<b>2.5 Cascavel Vai de Bici</b> .....	<b>26</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Etapa 1: Perfil dos usuários do sistema “Cascavel Vai de Bici”</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2 Etapa 2: Levantamento das características de entorno das estações</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3 Etapa 3: Critérios de avaliação</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4 Etapa 4: Verificação dos dados e obtenção das equações</b> .....	<b>34</b>
3.4.1 Regressão Linear Múltipla .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Programa Cascavel Vai de Bici em operação</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2 Características de entorno de cada estações</b> .....	<b>39</b>
<b>4.3 Determinação das variáveis e conferência dos pressupostos</b> .....	<b>42</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a questão da mobilidade urbana tem se tornado um grande desafio para as políticas urbanas e ambientais, visto que as crescentes taxas de urbanização, a precarização no transporte público coletivo e o crescimento econômico contribuíram para o aumento expressivo na utilização de transporte individual.

Devido ao crescimento populacional atrelado a falhas na gestão pública, no que se refere ao planejamento urbano, os problemas de mobilidade urbana vêm crescendo substancialmente nas últimas décadas, o transporte motorizado individual vem sendo um dos principais agravantes desse cenário, nos últimos 10 anos o Brasil registrou um crescimento na frota de veículos motorizados de 57% (DENATRAN, 2022; DENATRAN, 2012). As políticas públicas de incentivo à produção, venda e utilização de automóveis, ainda possuem maior força em comparação as medidas de incentivo ao uso de transporte público e não motorizado.

Nas últimas décadas o processo de urbanização vem crescendo significativamente, gerando inúmeros impactos sociais, ambientais, econômicos, bem como na saúde da sociedade, em escala mundial. Entre os maiores problemas estão o aumento de congestionamentos, acidentes de trânsito, poluição sonora e atmosférica, mudanças climáticas, todos esses fatores interferem diretamente na qualidade de vida da população.

Desse modo a mobilidade sustentável vem ganhando cada vez mais relevância na sociedade, como as políticas de incentivo a mobilidade ativa, sendo elas a locomoção a pé, bicicleta, veículos não motorizados, entre outros, com o intuito de minimizar esses impactos. Assim, faz-se necessário estudos e implementações de novas políticas urbanas, a fim de garantir que os problemas atuais sejam resolvidos sem comprometer as futuras gerações.

O uso de bicicletas para o transporte urbano vem ganhando cada vez mais força nos últimos anos por ser um meio de transporte sustentável, acessível economicamente, além de trazer benefícios para a saúde física e mental, bem como ser utilizado para realizar a integração entre outros meios de transporte, diminuindo substancialmente os impactos ambientais relacionados a mobilidade urbana.

Diante desta situação, nos últimos anos diversas cidades ao redor do mundo têm investido na implantação de sistemas de bicicletas compartilhadas e na

construção de ciclovias, com o intuito de contribuir para a diminuição da poluição e congestionamentos, gerando benefícios para saúde física e mental. Esse sistema é composto, basicamente, por estações distribuídas pela área urbana da cidade, onde os usuários podem retirá-las e devolve-las em diferentes estações.

O uso desse sistema vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, de acordo com DeMaio (2009), em 2009 haviam cerca de 120 programas de bicicletas compartilhadas espalhadas pelo mundo, atualmente esse número passa de 1.800 sistemas em operação em diversas cidades, com base no mapa mundial de bicicletas compartilhadas desenvolvido por Meddin *et al.* (2022). Esses números evidenciam o a eficácia das novas políticas de mobilidade urbana atrelado a necessidade por um estilo de vida mais sustentável.

Diversos estudo sobre as bicicletas compartilhadas vem sendo realizados com o intuito de estabelecer as métricas e parâmetros que influenciam seu uso, para que o sistema seja bem sucedido e consiga atingir os objetivos ao qual ele foi designado, atendendo de maneira satisfatória a comunidade. Os sistemas devem ser acessíveis a todas as classes igualmente, bem como promover a sustentabilidade.

Faz-se necessária um estudo junto ao meio constituinte no qual a população local se desenvolve para que o sistema atenda da melhor forma às necessidades dos usuários, sendo capaz de resolver ou melhorar os problemas de mobilidade presentes na cidade, conferindo boa estrutura e segurança.

Nesse contexto, em julho 2020, a cidade de Cascavel no Paraná, situada no Oeste do estado, implementou um sistema de bicicletas compartilhadas chamado “Cascavel Vai de Bici”, e desde então está em operação na cidade, conta com 8 estações distribuídas em pontos estratégicos da cidade, com 56 bicicletas disponíveis aos usuários. Para utilizar as bicicletas é necessário fazer um cadastro online e escolher um dos planos ofertados pelo sistema, sendo eles diário, mensal ou anual (CASCAVEL VAI DE BICI, 2022).

Diante disso, a proposta desse estudo é avaliar a influência das características de entorno das estações em relação a demanda do sistema de bicicletas compartilhadas (SBC) no município de Cascavel/PR de acordo com dados obtidos do período de operação do sistema e desenvolver um modelo matemático que possibilita estimar o potencial de cada estação.

## 1.1 Justificativa

A cultura da valorização de automóveis incentivado por diversos governos ao longo dos anos, atrelado a baixa qualidade no transporte público e baixo investimento na infraestrutura voltada para o transporte não motorizado, como ciclovias e calçadas acessíveis, evidenciam as dificuldades enfrentadas na locomoção urbana. O sistema de bicicletas compartilhadas propõe uma alternativa na mobilidade urbana, a fim de amenizar essas dificuldades (CADURIN, 2016; RAMIS e SANTOS, 2012).

De acordo com Frade e Ribeiro (2014), outros meios de locomoção como transporte público, a pé, ou até automóveis podem ser substituídos pelo uso das bicicletas. Estudos realizados em algumas cidades indicam mudanças significativas nos modais utilizados após a implantação dos sistemas de bicicletas compartilhadas, como na cidade de Melbourne, na Austrália, onde foi possível verificar sua substituição, sendo 19,0% proveniente do veículo particular, 41% do transporte público e 26% do transporte a pé (FISHMAN *et al.*, 2014).

Apesar de algumas cidades apresentarem índices baixos em relação a substituição do uso de automóveis particulares, no caso das cidades de Londres e Washington, EUA, onde apresentaram índices de migração de 2% e 7%, respectivamente, não significa que não seja capaz de gerar impactos positivos, pois, com a redução da circulação de veículos particulares diminui-se os congestionamentos e emissão de  $CO_2$ , principal contribuinte da poluição atmosférica (FISHMAN *et al.*, 2014; FISHMAN *et al.*, 2013).

A implementação de um sistema de bicicletas compartilhadas gera inúmeros benefícios para a população, na economia local, diminui o tempo de percurso, bem como melhoria na qualidade de vida. Estudos demonstram um aumento no uso das bicicletas após a implementação do SBC o que leva um aumento na prática da atividade física relacionada a bicicleta, gerando indiretamente benefícios para saúde tanto física como mental, diminuindo os níveis de estresse (TRAN *et al.*, 2015; OLMOS, 2021).

Outro fator que impulsionou o uso das bicicletas recentemente deu-se em razão à pandemia do COVID-19 a partir do ano de 2020, contribuindo para o crescimento de usuários, por ser um meio de transporte mais seguro, em relação a

distanciamento de segurança, diferentemente da maioria dos transportes públicos, oferecendo uma opção segura para o lazer e atividades físicas.

Atualmente Cascavel é o único município que possui um sistema de bicicletas compartilhadas em todo o estado do Paraná, sendo esse um diferencial em planejamento urbano e de mobilidade, podendo ser um modelo para as demais cidades, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de estudos sobre esse sistema na mobilidade urbana.

## **1.2 Objetivos**

Para a realização desse trabalho determina-se os objetivos de forma a orientar a pesquisa, eles são apresentados a seguir.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver um modelo matemático que possibilita estimar o potencial de utilização de cada estação do sistema de bicicletas compartilhadas da cidade de Cascavel-PR.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Verificar os dados obtidos entre o período de um ano (2021-2022) de operação do sistema de bicicletas compartilhadas da cidade de Cascavel-PR;
- Avaliar a demanda das estações do sistema de bicicletas compartilhadas,
- Identificar características que influenciam na demanda das estações (entorno);
- Desenvolver dois modelos matemático a partir de parâmetros estabelecidos (retiradas e devolvidas).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica o para desenvolvimento da pesquisa proposta, fornecendo uma contextualização da temática da mobilidade sustentável e o sistema de bicicletas compartilhadas. Para isso, abordou-se sobre a Lei da Mobilidade Urbana, aspectos da mobilidade sustentável, bem como os fatores que influenciam seu uso e aspectos de entorno, sobre o sistema de bicicletas compartilhadas no brasil e no mundo, seus aspectos históricos e por fim o sistema de bicicletas compartilhadas no Município de Cascavel-PR.

### **2.1 Lei da Mobilidade Urbana**

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento da sociedade é indispensável que o planejamento urbano seja capaz de atender as necessidades provenientes desse crescimento buscando alternativas para garantir qualidade e bem estar aos seus usuários. A mobilidade urbana vem enfrentando problemas com a falta de planejamento e estrutura adequada para suprir essa necessidade. O aumento no uso de automóveis e a falta de investimento no transporte público gera inúmeros transtornos, como congestionamentos e acidentes de trânsito. Outro fator é o tempo perdido durante a locomoção decorrente dos congestionamentos afetando a economia e saúde física e mental. (RUBIM e LEITÃO, 2013).

Com o intuito de amenizar esses impactos e proporcionar soluções viáveis para os problemas de mobilidade urbana, em 2012, o Congresso Nacional aprovou a Lei 12.587/2012, criando a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), que visa definir as orientações no planejamento e regulamentação na mobilidade urbana.

Os principais objetivos dessa política estão relacionados ao incentivo da mobilidade sustentável, integração entre os modais, melhoria na acessibilidade e a redução das desigualdades, promovendo a inclusão social. A priorização do uso de transportes coletivos e não motorizados, bem como garantir a população uma participação ativa juntamente com o governo nas ações relacionadas a mobilidade também são fatores indispensáveis para o Plano de Mobilidade Urbana (PMU) (BRASIL, 2012). De acordo com a lei, os municípios, com mais de 20.000 habitantes,

devem elaborar e aprovar um Plano de Mobilidade Urbana até 2023 contendo as diretrizes da que compõem a lei e integrá-lo ao plano diretor da cidade.

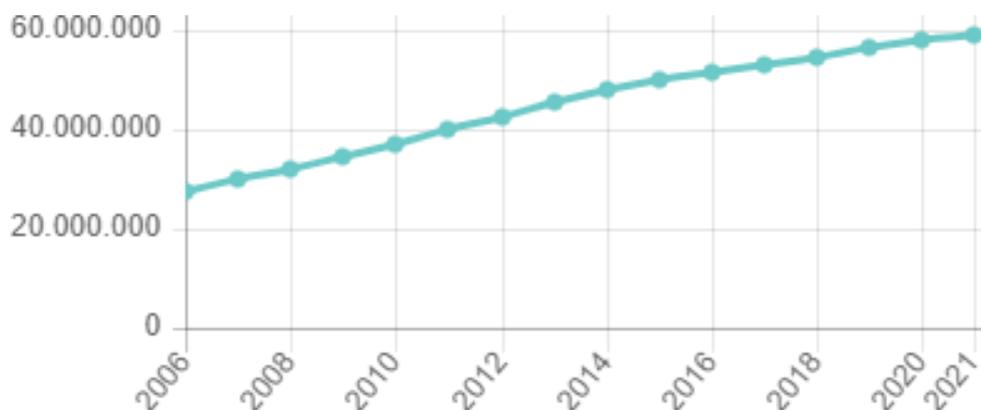
Diante disso, para que a lei seja cumprida é necessário que o município possua um planejamento adequado com os recursos econômicos disponíveis, para que os investimentos compreendam todos os meios de transporte urbano.

## **2.2 Mobilidade urbana e a sustentabilidade**

De acordo com a Lei 12.587/2012, a mobilidade urbana pode ser definida como a forma em que as pessoas e cargas se deslocam pela cidade, por qualquer meio, seja ele a pé, transporte público ou privado. É de responsabilidade do município desenvolver políticas de transporte que garantam o fornecimento de uma infraestrutura adequada e ferramentas necessárias para que a população possa se locomover livremente pela cidade de forma segura e eficiente (BARCELOS e SILVA, 2018).

Atualmente, muitos centros urbanos vêm enfrentando problemas com congestionamentos devido ao aumento no uso de automóveis ao longo dos anos, inclusive no Brasil, como pode ser visto na Figura 1. Esse fato ocorre por reflexo das políticas de incentivo ao uso de automóveis fomentada pelas esferas governamentais nas últimas décadas. Os investimentos na infraestrutura viária não conseguem suprir o aumento no número de automóveis circulando pelas vias, uma vez que o Brasil registrou, nos últimos 10 anos, um crescimento de 57% na frota de veículos motorizados (DENATRAN, 2012; DENATRAN, 2022).

**Figura 1 - Frota de automóveis por ano no Brasil**



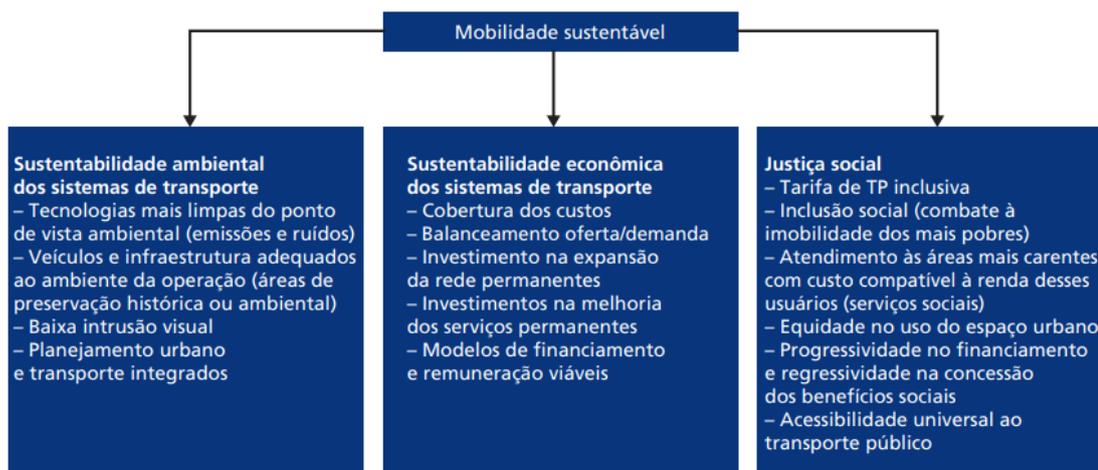
Fonte: IBGE (2021)

Além de gerar congestionamentos, o uso de automóveis contribui para o aumento da emissão de gases poluentes na atmosfera. Segundo a *International Energy Agency* (2019), em 2019, o Brasil foi responsável por emitir 411Mt de  $CO_2$  na atmosfera, desse total, 47,2% foi emitido pelo setor de transporte. Além disso o esgotamento de fontes dos combustíveis fósseis também vem se tornando uma preocupação, visto que a maioria dos veículos utilizados no Brasil utilizam energia de origem fóssil. Evidenciando a necessidade por soluções alternativas e sustentáveis.

Atualmente, o desenvolvimento sustentável tem levantado questões cada vez mais relevantes na sociedade, elas requerem uma atenção especial para garantir que os problemas atuais sejam resolvidos sem comprometer as futuras gerações. A saúde mental e física, bem como melhoria na qualidade de vida também estão inclusos na proposta de estilo de vida sustentável (KUNZ *et al.*, 2017).

Diante disso, surge a mobilidade urbana sustentável, que visa proteger o meio ambiente garantindo uma boa qualidade de vida, inclusão social e desenvolvimento econômico da sociedade. Segundo Barcelos e Silva (2018), é necessário trabalhar com os três pilares do desenvolvimento sustentável, a saber: social, econômica e ambiental, podendo ser aplicados no âmbito da mobilidade urbana sustentável (Figura 2).

**Figura 2 - Dimensões da mobilidade urbana sustentável**



Fonte: CARVALHO, p.17 (2016)

Assim destacam-se os principais fatores:

- Priorização no uso de meios de transporte coletivo e não motorizado, como as bicicletas;
- Inclusão social e acessibilidade universal e equidade nas condições de deslocamentos, garantir o direito constitucional de ir e vir;
- Integração entre os modais;
- Investimento na infraestrutura e melhoria na qualidade do serviço;
- Modicidade tarifária (tarifa acessível a todos).

Nesse contexto, o modo a pé e a bicicleta são os principais meios de transporte não motorizado. Destaca-se o uso da bicicleta, sendo uma alternativa mais acessível economicamente e sustentável. Sua utilização proporciona autonomia ao usuário, reduz os impactos ambientais, melhora o aproveitamento do espaço urbano e traz benefícios para a saúde da população, também contribui para a diminuição dos congestionamentos (KUNZ *et al.*, 2017; CADURIN, 2016, HANDY *et al.*, 2010).

### 2.3 Fatores que influenciam o uso da bicicleta e suas desvantagens

Visto que a bicicleta é um dos principais objetos desse estudo, faz-se necessário identificar os fatores que influenciam o uso da bicicleta e as suas desvantagens, pois esses fatores influenciam diretamente no uso das bicicletas compartilhadas.

De acordo com estudos, o uso da bicicleta como meio de locomoção está relacionado a fatores individuais, a motivação, e também a fatores físico-ambientais e socioambientais, eles determinam as condições influenciando tanto positivamente, quanto negativamente na sua qualidade.

Segundo Handy *et al.* (2010), os fatores individuais estão relacionados as características sociodemográficas (gênero, raça, idade, renda, nível de educação, entre outros), também fatores como a segurança, comodidade e economia de tempo. Os fatores físico-ambientais referem-se as condições de tráfego e infraestrutura própria para bicicletas, como as ciclovias, o clima e relevo também são fatores relevantes. E, por fim, os fatores socioambientais que estão relacionados a existência de uma comunidade que utilizam bicicletas, bem como o roubo de bicicletas. Todos esses fatores auxiliam para a tomada de decisão para o uso, ou não, da bicicleta, elas determinam as condições da locomoção, sendo possível analisar seus benefícios e desvantagens.

Uma infraestrutura adequada para o uso das bicicletas, como ciclovias e ciclofaixas, promovendo uma maior segurança no trânsito é um fator fundamental segundo estudos. Fatores como, condicionamento físico, presença de relevo acidentado, questões climáticas e questões relacionadas à segurança, como possíveis roubos e furtos estão entre os fatores que mais desencorajam o uso da bicicleta (FRADE e RIBEIRO, 2014).

## **2.4 Sistema de Bicicletas Compartilhadas**

O sistema de bicicletas compartilhadas vem sendo amplamente implantado em diversas cidades nos últimos anos com o objetivo de promover a mobilidade sustentável. O sistema facilita os deslocamentos de pequenas distancias em áreas urbanas, além de ser viável economicamente, possibilitando a integração entre o transporte público, bem como as inúmeras vantagens em relacionadas a qualidade de vida (MARTINEZ *et al.*, 2012; DASTJERDI e MORENCY, 2022; BARBOSA e SOUZA, 2021).

O Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP, 2014) aponta que os objetivos de um SBC são: facilitar o transporte dos passageiros de transporte de massa no trajeto entre a estação mais próxima e seu destino final, minimizar o

impacto da falta de grandes investimentos em sistemas de transporte superlotados, atender a metas de diversificação modal ou de redução da poluição na cidade, promover o turismo e finalmente gerar mais empregos.

O uso desse sistema vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, de acordo com DeMaio (2009), em 2009 haviam cerca de 120 programas de bicicletas compartilhadas espalhadas pelo mundo. Atualmente, com base no mapa mundial de bicicletas compartilhadas desenvolvido por Meddin *et al.* (2022), esse número passa de 1.800 sistemas em operação em diversas cidades espalhadas pelo mundo. Esses números evidenciam a eficácia das novas políticas de mobilidade urbana atrelado a implementação de novas tecnologias no meio de transporte, tendo em vista a necessidade por um estilo de vida mais sustentável.

O sistema de bicicletas compartilhadas, normalmente, é composto por um conjunto de estações distribuídas pelo perímetro urbano da cidade em pontos estratégicos, geralmente próximos de terminais de ônibus e metrô, parques e centros. Essas estações dispõem de bicicletas para serem utilizadas nos deslocamentos entre elas, dentro de um período de tempo estabelecido. Na maioria dos casos as estações possuem um sistema próprio informatizado. Esse sistema pode ser gratuito ou possuir uma taxa para o aluguel das bicicletas, podendo ser utilizado pela população no dia a dia, para trabalho, como também para lazer e turismo (MARTINEZ *et al.*, 2012; RICCI, 2015).

Segundo DeMaio (2009), os sistemas de bicicletas compartilhadas podem ser divididos em três gerações, de acordo com seu sistema de operação e história, sendo elas descritas a seguir.

#### 2.4.1 Primeira geração

A primeira geração de bicicletas compartilhadas ocorreu em 1965, na cidade de Amsterdam, capital da Holanda, o projeto foi denominado “*Witte Fietsen*”, ou “*White Bikes*” (Figura 3), com o objetivo de reduzir o tráfego de automóveis no centro cidade.

**Figura 3 - Primeiro sistema de bicicletas compartilhadas- *White bikes***



**Fonte: MARQUEZ (2016)**

Esse sistema ficou conhecido como o primeiro SBC do mundo, composto por bicicletas brancas distribuídas pela cidade, disponíveis para uso da população e sendo livre de cadastro e tarifas. Porém ele apresentava algumas falhas por não possuir um controle de retiradas e devoluções. Com a falta de um sistema de controle adequado, em poucos dias de operação o projeto falhou, devido ao extravio e roubo das bicicletas. Apesar de não ter obtido êxito em sua operação esse projeto foi de suma importância para o desenvolvimento dos sistemas que são utilizados atualmente, sendo considerado o precursor dos SBC (FRADE e RIBEIRO, 2014; ITDP, 2014).

#### 2.4.2 Segunda geração

A segunda geração surgiu na Dinamarca em 1991, porém eram programas pequenos. Somente em 1995, que um programa de grande escala foi implementado, na cidade de Copenhague, capital da Dinamarca, denominado “*ByCyklen*” ou “*City Bikes*” (Figura 4), esse sistema apresentava uma evolução comparado ao da primeira geração.

Figura 4 - Bicicleta do programa *ByCyklen* implantado em Copenhague (1995)



Fonte: MEHTA (2008)

As bicicletas foram desenvolvidas para o uso na área central da cidade. Para a população utilizá-las era necessário inserir uma moeda, porém o sistema ainda não possuía nenhum tipo de identificação do usuário que garantisse um maior controle sobre as bicicletas, desse modo, roubos e vandalismos ainda eram recorrentes, o que acabou inviabilizando maiores investimentos nesse sistema (DEMAIO, 2009; SHAHEEN *et al.*, 2010).

### 2.4.3 Terceira Geração

Com o intuito de melhorar a segurança, o controle, a monitoração e cobrança das bicicletas, foram desenvolvidas novas tecnologias dando origem ao surgimento da terceira geração.

De acordo com Demaio (2009) e ITDP (2014), o início da terceira geração das bicicletas compartilhadas ocorreu em 1996, com o programa "*Bikeabout*" criado na Universidade de Portsmouth na Inglaterra, onde os estudantes podiam alugar as bicicletas através de um cartão magnético. Em 1998, o conceito de cartão inteligente (*smart-card*) foi introduzido no SBC de Rennes na França. Porém o grande marco para a terceira geração de bicicletas compartilhadas ocorreu somente em 2005, com a inauguração do sistema *Velo'v de Lyon* (Figura 5), contava com 1.500 bicicletas. Mais tarde, em 2007, esse sistema serviu de inspiração para a implementação do programa *Vélib'*, de Paris, que inicialmente contava com 7.000 bicicletas. Esses modelos se tornaram uma grande referência para os sistemas da terceira geração,

contribuindo para a popularização desse modal em todo o mundo, em 2008 os sistemas começaram a ser implementados fora da Europa, como por exemplo, no Brasil, China, Estados Unidos, entre outros.

**Figura 5 - Estação de bicicletas do sistema Velo'v em Lyon na França**



**Fonte: Intelligent Transport (2019)**

De acordo com Frade e Ribeiro (2014), os novos sistemas desenvolvidos trouxeram inúmeras melhorias tecnológicas e maior segurança, sendo a principal delas a identificação dos usuários para terem acesso as bicicletas. Esses sistemas possuem acesso automático, travamento eletrônico para as bicicletas, sistemas de telecomunicações, rastreamento por GPS (*Global Position System*) e uso de cartões ou aplicativos para smartphones. Dessa forma, possibilitando autonomia ao usuário e maior segurança e controle da empresa responsável pelo fornecimento dos serviços.

#### 2.4.4 Quarta Geração

Atualmente, já é possível identificar uma quarta geração do sistema de bicicletas compartilhadas. Ela é caracterizada pela implantação de novas tecnologias no gerenciamento do sistema, a fim de garantir maior eficiência para melhor atender as necessidades e demandas dos usuários. Proporcionando melhoria nas estações, uso de bicicletas elétricas, integração entre diferentes meios de transporte (público e privado), estações móveis e instalação de painéis solares para geração de energia. Outra particularidade presente são os sistemas em que não possuem estações para as bicicletas, onde através do rastreamento por GPS (*Global Position System*) os

usuários podem localizar e utilizar as bicicletas por meio de aplicativos (ITDP, 2014; SHAHEEN *et al.*, 2010; GARCÍA-PALOMARES *et al.*, 2012).

#### 2.4.5 Sistema de bicicletas compartilhadas no Brasil

Com a popularização dos sistemas de bicicletas compartilhadas ao redor do mundo, algumas cidades do Brasil também optaram por investir nesse sistema em ascensão nas últimas décadas. Segundo ITDP (2016), o primeiro SBC da terceira geração implementado no Brasil foi em 2008, no Rio de Janeiro. Em 2016, o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) desenvolveu um estudo do SBC de quatro cidades do Brasil avaliando o planejamento e desempenho de cada sistema. O estudo foi realizado nas cidades de Belo Horizonte, Distrito Federal, Rio de Janeiro e São Paulo, indicando as falhas presentes nesses sistemas e possíveis soluções, relacionados a melhorias do desempenho, na legislação, bem como controle social e financeiro.

Na cidade de Belo Horizonte o SBC foi implantado em 2014, denominado BikeBH, esse sistema possui 40 estações e 400 bicicletas, em junho de 2015 tinha em seu sistema 23.317 usuários cadastrados, para utilizar o sistema é cobrado uma tarifa, sendo ela diária, mensal ou anual. Os usuários podem retirar as bicicletas, comprar passes e efetuar o cadastro por meio de um aplicativo (MOVE SAMBA, 2022).

Inicialmente o SBC foi instalada no Rio de Janeiro em 2008, em seguida o programa Bike Rio iniciou sua operação em 2011 e atualmente possui 310 estações e 3.100 bicicletas disponíveis por toda cidade do Rio de Janeiro. O sistema disponibiliza bicicletas convencionais e também elétricas (Figura 6), sendo o primeiro sistema a oferecer essa tecnologia no Brasil, ele também funciona através de aplicativo de smartphones e para utiliza-las é necessário adquirir os planos oferecidos pela empresa (BIKE ITAÚ, 2022).

**Figura 6 - Bicicleta compartilhada elétrica da cidade de Rio de Janeiro**



**Fonte: Mobilize Brasil (2020)**

Em São Paulo o SBC foi instalado em 2012, denominado Bike Sampa, o sistema conta, atualmente, com 2.700 bicicletas distribuídas em 260 estações pela cidade. A liberação para utilização das bicicletas é feita por meio de aplicativo, após ser realizado o pagamento, todo o trajeto pode ser acompanhado em tempo real e com o tempo cronometrado (BIKE ITAÚ, 2022).

Um dos principais problemas presente na maioria dos sistemas é a baixa qualidade na prestação dos serviços, manutenção ineficiente, falhas nos sistemas de automação, falta de transparência e disponibilização de dados do sistema, falta de planejamento na implantação da localização das estações, falha na integração entre outros meios de transporte (ITDP, 2016).

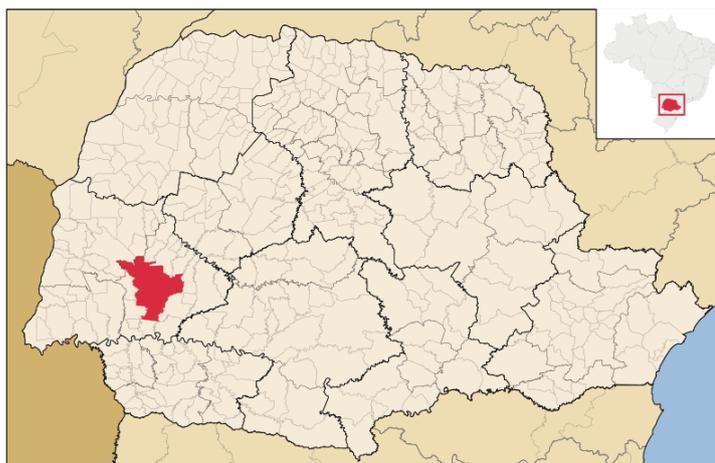
Apesar dos sistemas apresentarem falhas, sua contribuição para a mobilidade sustentável é evidente, disponibilizando um meio de transporte acessível, redução na emissão de gases poluentes, como também benefícios para a saúde e diminuição dos congestionamentos em grandes centros urbanos.

Estudos realizados pelo Laboratório de Mobilidade Sustentável (LABMOB), da UFRJ, mostram uma grande redução de emissão de gases poluentes na atmosfera com o uso de bicicletas compartilhadas. Esses dados são monitorados, quantificados e divulgados através da plataforma “Micromobilidade Brasil”. No mês de agosto de 2021 foram contabilizados 5,71 tCO<sub>2</sub> que deixaram de ser produzidos por dia em todo Brasil através do uso dos SBC, somando 38.545 viagens diárias de bicicleta (LABMOB, 2022).

## 2.5 Cascavel Vai de Bici

O Município de Cascavel no Paraná, localizado na região oeste do estado do Paraná (Figura 7), com uma população de 336 mil habitantes, segundo estimativa do IBGE (2021) e densidade demográfica de 161,08 hab/km<sup>2</sup> (IPARDES, 2022). Possui uma frota de 152 mil automóveis, representando um aumento de 53% nos últimos 10 anos (DENATRAN, 2012; DENATRAN, 2022), apesar da cidade apresentar investimentos no planejamento urbano, com vias principais largas que facilitam os deslocamentos na área urbana. Porém, faz-se necessário a realização de estudos voltados para a implementação e incentivo ao uso de meios de transporte sustentáveis, com o intuito de estimular um estilo de vida mais sustentável para a população cascavelense.

**Figura 7 - Localização de Cascavel no Paraná**



**Fonte: UNIOESTE (2022)**

Quanto às políticas públicas municipais referente a mobilidade urbana, o Município de Cascavel possui um Plano Municipal Viário e de Transporte em conformidade com o Plano Diretor, e tem como objetivo garantir a mobilidade e acessibilidade a população, fornecendo infraestrutura adequada para a locomoção nas vias públicas, assegurando o direito de ir e vir (MUNICÍPIO DE CASCAVEL, 2012). A cidade também possui o Programa de Desenvolvimento Integrado (PDI), que visa promover melhorias nas condições socioambientais e na qualidade de vida dos cidadãos do município e tem como um dos principais objetivos aumentar a eficiência dos sistemas de mobilidade (MUNICÍPIO DE CASCAVEL, 2014).

Nos últimos anos a Prefeitura vem realizando obras para melhoria no espaço urbano da cidade de acordo com o Programa de Desenvolvimento Integrado. A revitalização das principais avenidas da cidade é uma das melhorias propostas pelo programa, através da implantação de novas cicloviás e calçadas para pedestres. Atualmente a Avenida Brasil e a Avenida Tancredo Neves, sendo as principais vias de circulação, possuem mais de 12 km de cicloviás, além de outras avenidas que também possuem espaço exclusivo para circulação de ciclistas.

Essas obras contribuem para melhorar a acessibilidade e segurança de ciclistas e pedestres, influenciando diretamente no uso da bicicleta como meio de transporte e incentivando a prática de exercícios físicos.

Nesse contexto, em junho de 2020, a Prefeitura Municipal de Cascavel inaugurou um sistema de compartilhamento de bicicletas denominado “Cascavel Vai de Bici”, o qual conta, atualmente, com 8 estações instaladas com o total de 56 bicicletas distribuídas pela área urbana em pontos estratégicos.

Para utilização das bicicletas é necessário realizar um cadastro e adquirir uma das opções de passes disponíveis, tudo de forma online, através do site desenvolvido para o sistema. A empresa oferece opções para passe diário, mensal e anual, com valores de R\$5,00, R\$15,00 e R\$90,00, respectivamente (CASCAVEL VAI DE BICI, 2022). O procedimento de retirada e devolução da bicicleta é totalmente automático, realizado através dos terminais eletrônicos de autoatendimento. Após retirar a bicicleta da estação o usuário tem um tempo de utilização disponível de 1 hora com intervalos de 30 minutos entre as viagens.

A Figura 8 apresenta uma das 8 estações em operação na cidade, ela está localizada em frente à Catedral, ao um dos principais cartões postais da cidade.

**Figura 8 - Estação de Bicicleta compartilhada em Cascavel**



**Fonte: Autor (2022)**

Atualmente Cascavel é a única cidade do Paraná a disponibilizar esse serviço de compartilhamento, com pouco mais de dois anos de operação o sistema já conta com 18.117 usuários cadastrados.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização desse estudo, que consiste em determinar os materiais e procedimentos para a elaboração do Estudo de Caso através de pesquisa bibliográfica em artigos, periódicos e legislações referentes ao assunto.

Por meio dos procedimentos descritos ao longo deste capítulo realizou-se um estudo sobre as características de entorno de cada estação de bicicleta com o objetivo de identificar suas influências na demanda para o sistema, tais como: praças, parques, instituições de ensino, ciclovia, comércio, entre outros. Assim, variáveis (critérios) quantitativas foram definidas com base nas características de entorno identificadas. Em seguida esses critérios podem ser comparados com os dados reais de utilização das estações fornecidos pela empresa prestadora do serviço, por fim, através dos dados obtidos gerar um modelo matemático que possibilite estimar o potencial de uso de cada estação em relação aos critérios definidos, sendo assim, a quantidade de bicicletas retiradas e/ou devolvidas.

Lin e Yang (2011), afirmam que a localização e a distribuição das estações estão diretamente relacionadas a sua demanda, as particularidades urbanas de cada região, como a acessibilidade e a infraestrutura destinada as bicicletas e influenciam nas escolhas da população local. A área de cobertura e a disponibilidade das estações também são fatores determinantes para um sistema eficiente.

Nesse contexto, a metodologia desenvolvida neste estudo de caso foi baseada na pesquisa realizado por Saraiva *et al.* (2019), por possuir diversas similaridades com o estudo de caso proposto, sendo assim os procedimentos metodológicos foram divididos em quatro etapas: coletar informações do sistema em operação, levantamento das características de entorno de cada estação, estabelecer critérios para determinar a demanda e, por fim, gerar um modelo matemático com os dados obtidos e realizar uma estimativa quanto a demanda das estações. Sendo elas descritas mais detalhadamente a seguir.

### **3.1 Etapa 1: Perfil dos usuários do sistema “Cascavel Vai de Bici”**

Para o desenvolvimento dessa pesquisa fez-se necessário a obtenção de informações sobre o sistema em operação a fim de caracterizar o perfil de usuários. Os dados foram fornecidos pela empresa responsável, sendo referentes ao período de julho de 2021 até julho de 2022, sendo analisado o período de um ano de operação do sistema. A fim de obter-se dados condizentes com a realidade, optou-se por não considerar, nesse estudo, o período anterior de funcionamento do sistema, visto que ele se iniciou em junho de 2020, em virtude do período atípico enfrentado durante a pandemia devido ao COVID-19. Com isso foi possível obter o número de viagens realizadas em cada estação, horários de maior utilização, número total de viagens realizadas e o total de quilômetros percorridos, além do histórico de utilização de cada estação, ou seja, o número de bicicletas retiradas e devolvidas em cada uma das estações.

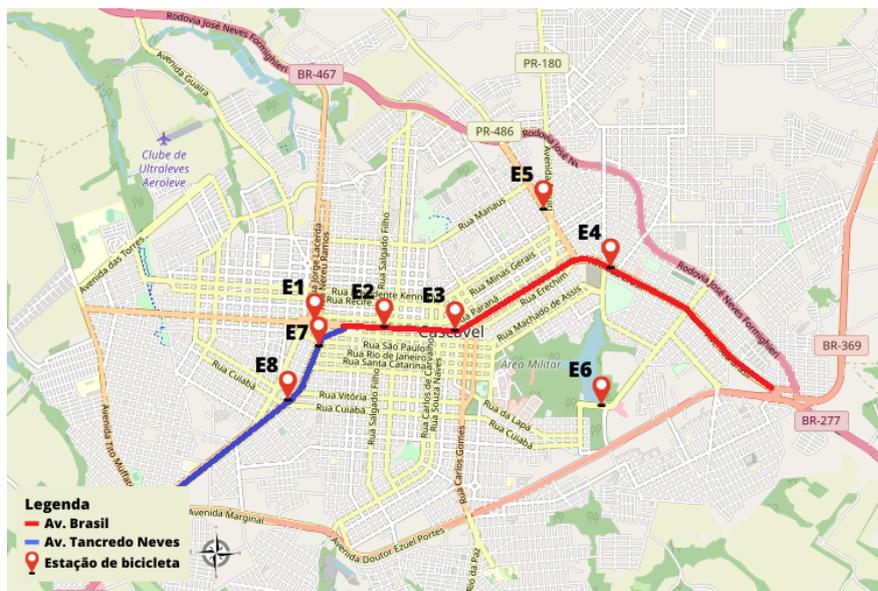
### **3.2 Etapa 2: Levantamento das características de entorno das estações**

Segundo García-Palomares *et al.*, (2012), para estimar a demanda das estações é necessário identificar os fatores que motivam a utilização das bicicletas, destinos como, trabalho, parques, shoppings, centros comerciais, escolas, entre outros, são fatores geradores de demanda, sendo assim a identificação das características de entorno das estações faz-se necessária para um melhor aproveitamento do sistema.

A área de cobertura é calculada a partir de um raio de 500 metros em torno de cada estação, em quilômetros quadrados (ITDP, 2014). Desse modo é possível identificar os principais pontos e características que contribuem para a geração de viagens em cada estação

O levantamento das 8 estações e seus entornos com se deu com o auxílio da ferramenta *Google Maps*, e assim identificados os pontos de interesse como, parques, shoppings, centros comerciais, instituições de ensino. A Figura 9 apresenta a localização das 8 estações distribuídas pela cidade.

**Figura 9 - Localização das 8 estações de bicicleta na cidade de Cascavel**



Fonte: Adaptado do Google Maps (2022)

A fim de facilitar e organizar o desenvolvimento dessa pesquisa, cada estação recebeu uma nomenclatura, seguindo as informações disponíveis no site do “Cascavel Vai De Bici”. Desse modo, as estações recebem uma numeração e nomenclatura, que está relacionada a sua localização na cidade, como um ponto de referência ou uma rua próxima, sendo apresentada no Quadro 1.

**Quadro 1 – Nomenclatura das estações de bicicletas**

<b>Estação</b>	<b>Nome</b>	<b>Localização</b>
E1	Bíblia	Praça da Bíblia
E2	Bernardes	Av. Brasil – Rua Presidente Bernardes
E3	Catedral	Catedral Metropolitana Nossa Senhora Aparecida
E4	Cidadania	Estação Lazer São Cristóvão
E5	Barão	Av. Barão do Rio Branco – Av. Piquiri
E6	Lago	Lago Municipal de Cascavel
E7	São Paulo	Av. Tancredo Neves – Rua São Paulo
E8	Cuiabá	Av. Tancredo Neves – Rua Cuiabá

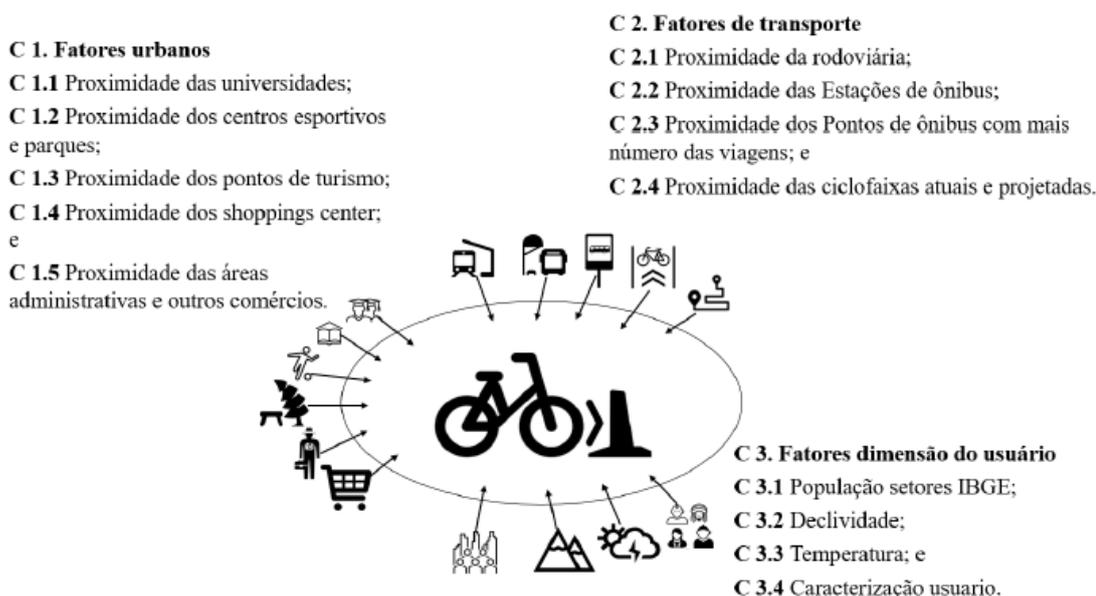
Fonte: Autor (2022)

Podemos observar que quatro das oito estações estão localizadas na Avenida Brasil (uma das principais vias da cidade) e duas estações na Avenida Tancredo Neves. Outro ponto importante é a presença de ciclovias que interligam as estações, assim, apenas a Estação E6 (Lago), não possui um percurso com ciclovia interligado com as outras estações.

### 3.3 Etapa 3: Critérios de avaliação

Nesta etapa foram definidos os critérios, sendo elas variáveis contínuas, pois tratam-se de características mensuráveis que podem assumir valores em uma escala contínua. Os critérios podem ser classificados em três fatores: urbanos, de transporte e características do usuário e região, conforme Figura 10. Para cada critério avaliado foi proposto um intervalo de valores associado as suas características.

**Figura 10 - Critério para a localização das estações de bicicletas**



Fonte: OLMOS (2021)

Para este estudo optou-se por adotar 4 critérios indicados pelo ITDP (2014), onde também foram utilizados nas pesquisas realizadas por Saraiva *et al.* (2019) e Kabak *et al.* (2018), sendo eles indicados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Critérios a serem avaliados**

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
Educação (E)	Quantidade de instituições de ensino no entorno (escolas de ensino fundamental e médio, faculdades e universidades).
Áreas verdes (V)	Medida da área verde dentro da área de abrangência de cada estação, isto é, foram consideradas as áreas de parques, praças e canteiros no entorno de cada estação.
Distância da estação mais próxima (DE)	Menor distância, em metros, entre duas estações.
População potencial (PP)	População em potencial na área de abrangência de cada uma das estações calculada de acordo com a densidade populacional da sua respectiva região (bairro).

**Fonte: Adaptado de Saraiva et al. (2019)**

O critério da população potencial é estipulado de acordo com a densidade populacional, sendo um indicador importante para o SBC. De acordo com o ITDP (2014), a população da área de cobertura pode ser calculada multiplicando-se a área de cobertura do sistema pela densidade populacional, ou seja, o número de moradores por quilômetro quadrado na respectiva área, sendo esse um fator essencial para se planejar e implementar um SBC eficiente, que seja capaz de atender as necessidades da população da cidade.

Desse modo, para o cálculo da população potencial de cada estação, utilizou-se os dados da densidade populacional de cada região/bairro onde encontra-se a estação, obtidos através do site da Prefeitura Municipal de Cascavel. Assim pôde-se calcular a área de cobertura de cada estação, em um raio de 500 metros, portanto uma área de 0,785 km<sup>2</sup> de abrangência para cada uma delas, multiplicando pela densidade (habitantes/km<sup>2</sup>) de cada região correspondente a sua estação, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – População potencial de cada estação de acordo com a densidade

Estação	Densidade (habitantes/km <sup>2</sup> )	População potencial
E1	4.008,82	3148,52
E2	4.008,82	3148,52
E3	4.008,82	3148,52
E4	3.153,31	2476,60
E5	3.153,31	2476,60
E6	1.400,37	1099,85
E7	4.008,82	3148,52
E8	4.522,00	3551,57

Fonte: Autor (2022)

O fator da segurança no tráfego, que seria a distância entre a estação e as ciclovias ou ciclofaixas mais próximas para realização da viagem é um importante critério de avaliação utilizado por alguns pesquisadores, porém o SBC do município do Cascavel possui todas as estações ao longo de ciclovias existentes na cidade, portanto esse critério não terá relevância para os cálculos realizados nesse estudo.

Outro fator que também dever ser levado em consideração é a topografia e as condições geográficas da cidade, pois influenciam no uso da bicicleta (FRADE e RIBEIRO, 2014). Porém após uma verificação da localização das estações na cidade de Cascavel-PR, optou-se por desconsiderar esse critério, pois as estações possuem uma variação de altitude consideravelmente baixa.

### 3.4 Etapa 4: Verificação dos dados e obtenção das equações

Por fim, após a determinação dos critérios e obtenção dos dados e informações necessárias, pode-se obter equações capazes de estimar quantitativamente o uso de bicicletas retiradas e devolvidas por meio das variáveis que caracterizam seus entornos. Então, realizar as verificações com o auxílio do *software* estatístico gratuito *R* e ajustar os modelos de regressão linear múltipla. O histórico de utilização obtido na primeira etapa juntamente com as variáveis criadas a partir dos critérios estabelecidos, foram utilizados para realizar análises empíricas desses dados por meio de regressão linear, obtendo assim, duas equações de

primeira ordem, uma para as bicicletas retiradas e outra representando as bicicletas devolvidas.

### 3.4.1 Regressão Linear Múltipla

Segundo Montgomery e Runger (2021), a análise de regressão é utilizada para modelar e estudar as relações entre variáveis através de técnicas estatísticas e, assim, obter uma equação (modelo). A regressão linear possibilita estimar uma equação da reta que melhor descreva o comportamento das variáveis que estão sendo estudadas.

A regressão linear múltipla analisa a relação de uma única variável dependente ( $Y$ ) entre múltiplas variáveis regressoras, predictoras ou independentes ( $x_i$ ), tal modelo é representado pela Equação 1.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \times x_i + \epsilon \quad (1)$$

Onde,

$Y$ : variável dependente (resposta);

$\beta_0$ : constante, intercepto estimado;

$\beta_i$ : coeficiente de regressão;

$x_i$ : variável independente;

$\epsilon$ : erro aleatório.

Após estabelecidos os critérios de avaliação foi utilizado o método *stepwise* para a seleção das variáveis para o modelo de regressão com 95% de confiança, sendo uma estratégia utilizada para estudos descritivos onde a relação entre as variáveis é pouco conhecida. Nesse método somente são mantidas variáveis que contribuam de forma significativa para o modelo de regressão, dessa forma são realizadas iterações adicionando e removendo variáveis e analisando a hipótese de independência entre cada variável e a variável dependente (AMÉRICO e LACRUZ, 2017).

Para que a regressão linear obtida apresente resultados satisfatórios e confiáveis alguns pressupostos fundamentais foram avaliados e conferidos, entre eles estão:

- Linearidade: a relação entre as variáveis deve ser linear;
- Normalidade da distribuição do termo de erro (teste de Shapiro-Wilk);
- Homocedasticidade: a variância do termo de erro deve ser constante em todos os valores das variáveis independentes (teste de Breusch-Pagan);
- Não multicolinearidade: não pode haver correlação entre as variáveis preditoras (coeficiente de correlação de Pearson);
- Independência de erros: os termos de erros nas variáveis independentes não devem estar correlacionadas (teste de Durbin-Watson).

Para este estudo, o modelo foi obtido através da análise de regressão por meio do método dos mínimos quadrados e considerados válidos os critérios com um nível de significância *p-value* < 0,05 (5%), com um intervalo de confiança de 95%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos por meio da metodologia indicada no Capítulo 3. Inicialmente são apresentados os dados obtidos do sistema em operação, em seguida são determinadas as características de entorno de cada estação, então, obtidas as equações da demanda do SBC e, por fim comparadas aos dados do sistema em operação no município.

### 4.1 Programa Cascavel Vai de Bici em operação

Entre o período de julho de 2021 até julho de 2022, foram poupados 23.496 kg de  $CO_2$  através do uso das bicicletas compartilhada, com um total de 24.024 viagens e 117.482 km rodados, calculado de acordo com a distância entre a estação de retirada da bicicleta até a estação de devolução, em caso de retiradas e devoluções na mesma estação, calcula-se essa distância estimando uma velocidade média de 12 km/h. Além disso a média é de 60 de viagens por dia e 1.716 mensais. Atualmente, o sistema conta com 18.117 usuários cadastrados de acordo com os dados fornecidos pela empresa prestadora do serviço.

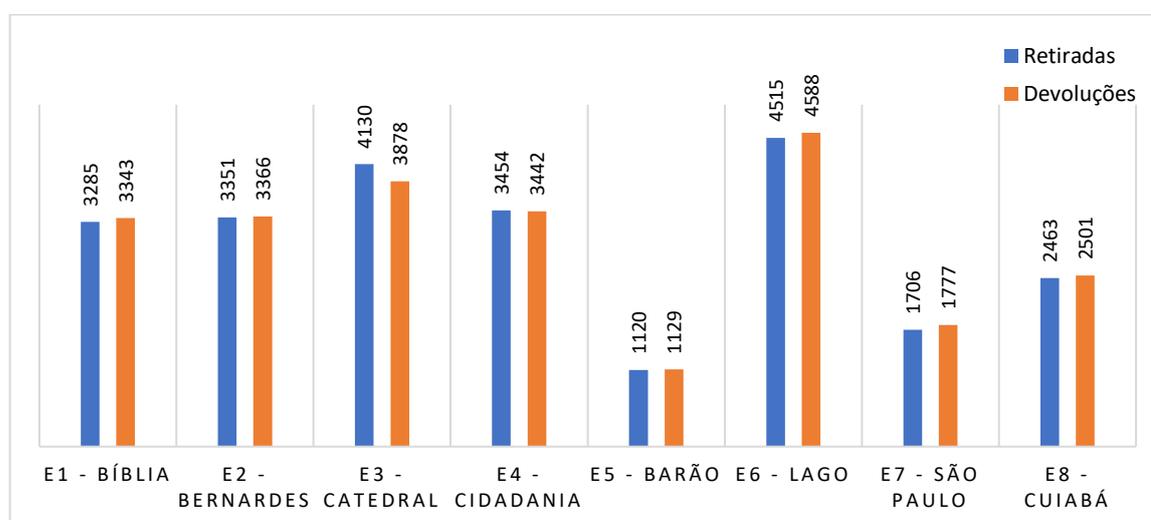
Os relatórios indicam que 61,2% dos usuários das bicicletas compartilhadas eram do sexo masculino, em relação a faixa etária, 55% dos usuários possuíam idade entre 20 a 30 anos e 25,1% entre 30 a 40 anos, indicando que o sistema abrange, principalmente, a população entre 20 a 40 anos de idade. Quanto à escolaridade, 28,8% possuía ensino médio completo, 25,6% ensino superior completo e 19,9% superior incompleto.

Com relação ao uso, os índices indicam que 75% dos usuários utilizam o sistema de bicicletas compartilhadas durante os dias da semana, sendo eles 31% no período da manhã (das 06:00 às 11:59), 42% no período da tarde (entre 12:00 às 17:59) e 27% no período da noite (das 18:00 às 22:00).

Considerando a área de cobertura de cada estação (raio de 500 metros) a área total de cobertura do sistema foi de 5,79 km<sup>2</sup>, levando em consideração que as estações E1 e E7 possuem uma área de cobertura sobreposta, apresentando, assim, uma densidade de 1,38 (estação por km<sup>2</sup>).

Durante o período de julho de 2021 a julho de 2022 a demanda de cada estação, ou seja, o número de bicicletas retiradas e devolvidas, é apresentada na Figura 11. Desse modo, é possível identificar que as estações com maior utilização, exceto a estação do Lago (E6), estão localizadas na Avenida Brasil, principal via da cidade, esse fato se dá em consequência da localização central na cidade e também pela presença de ciclovias interligando as estações.

**Figura 11 - Demanda por estação de bicicletas retiradas e devolvidas em um período de 12 meses**



**Fonte: Autor (2022)**

Pode-se visualizar que a estação E6 (Lago) foi a mais utilizada no período estudado devido ao fato de ser um espaço destinado ao lazer e a prática de atividades físicas, sendo ele um dos principais pontos turísticos da cidade. Nota-se também que as estações mais distantes do centro da cidade, que não estão localizadas na Avenida Brasil, como a estação Barão (E5), São Paulo (E7) e Cuiabá (E8) foram as que apresentaram menor utilização, com exceção da estação do Lago (E6).

Através desses dados obtidos, é possível estudar o sistema em operação na cidade e, assim, identificar possíveis recomendações apontadas pela literatura em relação aos sistemas de bicicletas compartilhadas. Segundo o Guia de planejamento de sistemas de bicicletas compartilhadas (ITDP, 2014) a área mínima de cobertura recomendada de cada sistema é de 10 km<sup>2</sup>, apresentando uma densidade de 10 a 16 estações por km<sup>2</sup> e com indicação de uma estação a cada 300 metros a fim de garantir uma distribuição uniforme. Em Cascavel a distância média entre as estações é de 1,4 km. Além disso, Ricci (2015) e o ITDP (2014) recomendam que cada bicicleta tenha

de 4 a 8 viagens por dia para que o SBC seja eficiente e tenha uma rotatividade adequada, desse modo, o SBC do município de Cascavel realizou cerca de 1,08 viagens por dia por bicicleta.

#### 4.2 Características de entorno de cada estação

Nesta etapa, realizou-se um levantamento das características de entorno de cada estação, com o intuito de identificar possíveis pontos geradores de demanda nas estações, no Quadro 3 estão identificados os principais pontos que potencializam o uso das estações.

**Quadro 3 - Levantamentos dos pontos geradores de demanda em cada estação**

(continua)

<b>Estação</b>	<b>Ponto gerador de demanda</b>
E1 - Bíblia	Cascavel JL Shopping Supermercado Muffato Prefeitura Municipal de Cascavel Terminal Rodoviário Praça do Migrante Área de comércio Colégio Santa Maria Terminal Urbano Oeste
E2 - Bernardes	Área de intenso comércio Supermercado Festival Praça do Migrante Super Muffato Unopar Avenida Brasil Colégio Adventista
E3 - Catedral	Catedral Nossa Senhora Aparecida Área de intenso comércio Colégio Marista Colégio Eleodoro Colégio Auxiliadora Teatro Municipal Sefrin Filho Museu de Arte de Cascavel - MAC Biblioteca Pública Municipal Hospital do Coração Unopar

**Quadro 3 - Levantamentos dos pontos geradores de demanda em cada estação****(conclusão)**

<b>Estação</b>	<b>Ponto gerador de demanda</b>
E4 - Cidadania	Shopping West Side Zoológico Municipal de Cascavel Colégio Alfa Área de comércio Muffatão West Side Canteiro central (playground) Estação Cidadania UniCesumar
E5 - Barão	Allmayer Supermercado Área de comércio
E6 - Lago	Lago Municipal de Cascavel
E7 - São Paulo	Praça do Migrante Terminal Rodoviário Colégio Santa Maria Área de comércio Terminal Urbano Oeste
E8 - Cuiabá	Supermercado Festival 10ª Regional de Saúde Área de comércio Estádio Municipal Amadores Theodoro Colombelli Colégio Estadual Padre Carmelo Perrone

**Fonte: Autor (2022)**

A localização das estações influencia diretamente no uso do SBC pela população, sendo um dos fatores determinantes para a demanda potencial do sistema, e assim, garantindo sua eficiência e otimização (GARCÍA-PALOMARES et al. 2012; HANDY *et al.*, 2010). De acordo com ITDP (2014), a área de cobertura das estações deve abranger um conjunto significativo de pontos de origem e destino aos usuários, recomenda-se a instalações de estações onde há maior densidade, normalmente na área central das cidades.

Ainda segundo ITDP (2014), a fim de atender a demanda das estações, o número de bicicletas deve ser calculado de acordo com o número de usuários em potencial na região, bem como a quantidade de vagas deve ser maior que o número de bicicletas disponíveis, sendo recomendado de 2 a 2,5 vagas para cada bicicleta em serviço.

Com o levantamento das características de entorno das estações pôde-se observar que 7 das 8 estações estão próximas ao comércio e 6 das 8 estações localizam-se próximos a praças e/ou áreas de lazer.

Além disso, metade das estações estão localizadas na principal avenida da cidade (Av. Brasil), apresentando uma localização estratégica para integração às regiões mais afastadas.

Apenas as estações E1 e E7 estão localizadas próximas ao transporte público, visto que segundo García-Palomares (2012) a integração entre o SBC e o transporte público é um elemento essencial como forma de complementar a mobilidade urbana.

A identificação dos fatores que geram demanda nas estações é um elemento fundamental para que o sistema seja adequado a fim de atender aos usuários em potencial, desse modo, devem ser estabelecidos critérios a serem avaliados e, assim, obter estimativas da demanda (GARCÍA-PALOMARES et al., 2012; ITDP, 2014). A Tabela 2 apresenta os dados levantados em cada estação a partir dos 4 critérios estabelecidos no Capítulo 3.

**Tabela 2 – Relação dos critérios estabelecidos nas 8 estações**

<b>Estação</b>	<b>Educação - E</b>	<b>Áreas verdes - V (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distância da estação mais próxima – DE (m)</b>	<b>População potencial – PP</b>
E1 - Bíblia	2	27.954	1200	3149
E2 - Bernardes	2	12.425	1000	3149
E3 - Catedral	5	17.683	1000	3149
E4 - Cidadania	2	80.191	1300	2477
E5 - Barão	0	793	1300	1717
E6 - Lago	0	127.455	2300	1100
E7 - São Paulo	1	8.139	1100	3149
E8 - Cuiabá	1	15.726	1100	3552

**Fonte: Autor (2022)**

Pode-se observar que as estações apresentam distâncias entre si com pouca variação, com exceção da estação do Lago (E6), variando de 1km a 1,3km. Além disso, a estação que apresentou maior área verde foi a estação do Lago (E6) pelo fato de estar localizada próximo ao Lago Municipal de Cascavel, possuindo uma vasta área verde, sendo destino recorrente dos moradores para lazer e prática de atividades físicas.

### 4.3 Determinação das variáveis e conferência dos pressupostos

Para que a utilização da regressão linear seja válida e apresente estimativas consistentes, as variáveis independentes selecionadas para o modelo devem prever de forma satisfatória os valores da variável dependente. Desse modo, os pressupostos, indicados na seção 3.4.1, devem ser satisfeitos.

Inicialmente utilizou-se o método *stepwise* para selecionar as variáveis do modelo de regressão, através da função “*stepAIC*” do *software* estatístico *R* foi possível identificar que as quatro variáveis pré-estabelecidas contribuem significativamente para os dois modelos de regressão (retiradas e devolvidas), porém como esse método se baseia apenas em critérios matemáticos e não teóricos, faz-se necessário o uso de outras técnicas e, assim, adotar a que melhor represente o modelo.

Dessa forma, realizou-se a análise de correlação de Pearson entre as variáveis independentes, a fim de observar se há multicolinearidade entre elas, pois, caso ocorra deverá ser analisado a possibilidade de retirar a variável do modelo, para que não interfira de forma negativa no resultado.

O coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) é uma estatística que mede a intensidade (força) de relação entre duas variáveis, seu valor varia em um intervalo de -1 a 1, quanto mais próximo dos extremos,  $r = |1|$ , mais forte é a correlação. Para que o coeficiente de Pearson apresente um valor significativo, nos casos em que a amostra é pequena, esse valor precisa estar próximo dos extremos,  $r > |0,8|$  (FILHO et al., 2010). A Figura 12 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson relacionando cada par de variáveis independentes.

Figura 12 - Coeficiente de correlação de Pearson



Fonte: Autor (2022)

Pôde-se observar que a variável DE (distância da estação mais próxima) apresentou valores do coeficiente de Pearson próximos aos extremos ( $r > |0,8|$ ), o que indica uma forte correlação entre a variável V (áreas verdes) e PP (população potencial). Acredita-se que esse fato se deu por conta do número limitado de amostras (número de estações) e um valor aproximadamente constante da distância entre as estações, com exceção da E6. Desse modo, é indicado retirar a variável que possui correlação com as demais do modelo de regressão.

Pelo resultado obtido através de método *stepwise* e do estudo dos coeficientes de correlação de Pearson obteve-se divergências nas variáveis selecionadas para o modelo, portanto iremos estudar duas possibilidades, um com as quatro variáveis iniciais e outro retirando a variável DE, apresentando apenas 3 variáveis independentes. Esses modelos serão aplicados para as duas situações estudadas, para as bicicletas retiradas e devolvidas em cada estação, ao total serão quatro modelos, sendo especificados no Quadro 4.

**Quadro 4 - Modelos de regressão linear**

Modelo	Variável dependente (Y)	Variáveis Independentes (X)
1	Número de bicicletas retiradas	E, V, DE, PP
2	Número de bicicletas retiradas	E, V, PP
3	Número de bicicletas devolvidas	E, V, DE, PP
4	Número de bicicletas devolvidas	E, V, PP

Fonte: Autor (2022)

Com base nesses modelos, analisou-se os pressupostos e os resultados estatísticos (teste F de significância e coeficiente de determinação ajustado), para assim, adotar o modelo que melhor atenda as características esperadas.

Dando seguimento à verificação dos pressupostos estabelecidos, a Tabela 3 apresenta os testes de Shapiro-Wilk, para verificação da normalidade, de Durbin-Watson, para validação da independência do termo de erro e de Breusch-Pagan, para verificação da homocedasticidade do termo de erro.

**Tabela 3 - Verificação dos pressupostos**

Modelo	Normalidade		Independência		Homocedasticidade	
	Shapiro-Wilk		Durbin-Watson		Breusch-Pagan	
	w	<i>p-value</i>	D-W	<i>p-value</i>	BP	<i>p-value</i>
1	0,95	0,73	1,87	0,90	0,93	0,82
2	0,96	0,84	2,15	0,77	0,80	0,67
3	0,96	0,79	1,72	0,81	0,88	0,83
4	0,97	0,92	2,00	0,98	0,69	0,71

Fonte: Autor (2022)

Para todos os modelos obteve-se  $p\text{-value} > 0,05$ , dessa forma, não há evidências para rejeitar a hipótese nula de normalidade distribuição do termo de erro pelo teste do Shapiro-Wilk ( $H_0$ : a distribuição do termo de erro é normal quando  $p > 0,05$ ). O teste de Durbin-Watson não permite rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ : não há autocorrelação entre os termos de erros quando  $p > 0,05$ ), pois apresentou valores de significância superior a 0,05, para os dois modelos. Assim, assume-se, que o termo de erro é independente. O teste de homocedasticidade apresentou valores de significância superiores a 0,05 para os quatro modelos, portanto não se pode rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ : há homocedasticidade para  $p > 0,05$ ). Desse modo, todos os pressupostos foram satisfeitos nos quatro casos.

Outro fator que deve ser analisado ao compararmos diferentes modelos é o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é frequentemente utilizado para avaliar a adequação de um modelo de regressão, ou seja, qual a porcentagem da variabilidade dos dados é explicada pelo modelo de regressão. Para modelos de regressão múltipla é indicado o uso do  $R^2$  ajustado para comparar e avaliar modelos competitivos de regressão (MONTGOMERY e RUNGER, 2021). A Tabela 4 mostra os dados da estatística de regressão para os modelos.

**Tabela 4 - Estatística de regressão**

Modelo	1	2	3	4
R múltiplo	0,9931	0,9903	0,9926	0,9902
R-Quadrado	0,9863	0,9807	0,9852	0,9804
R-quadrado ajustado	0,9726	0,9691	0,9705	0,9687
Erro padrão	40,6826	43,2233	42,0986	43,3617
Observações	8	8	8	8

Fonte: Autor (2022)

Observa-se que o modelo 1 apresenta maior poder de explicação ( $R^2$  ajustado = 0,9726) e também apresenta um erro padrão inferior ao modelo 2. Em seguida, por meio da análise anova (Tabela 5), que fornece um conjunto de testes estatísticos através do teste F para análise de variância, verifica-se que há evidências para rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ : modelo criado seja igual ao modelo nulo quando  $p > 0,05$ ) em todos os casos (Modelo 1, 2, 3 e 4). Desse modo, conclui-se que pelo menos uma das preditoras está relacionada com a variável dependente (Y).

**Tabela 5 - Análise de variância para testar a significância da regressão**

Modelo		gl	SQ	MQ	F	Sig.
1	Regressão	4	476361,1945	119090,2986	71,9547	0,0006
	Resíduo	4	6620,2966	1655,0741		
	Total	8	482981,4911			
2	Regressão	3	473640,2167	157880,0722	84,5067	0,0001
	Resíduo	5	9341,2744	1868,2549		
	Total	8	482981,4911			
3	Regressão	4	472963,8988	118240,9747	66,7164	0,0029
	Resíduo	4	7089,1663	1772,2916		
	Total	8	480053,0651			
4	Regressão	3	470651,9011	156883,9670	83,4386	0,0005
	Resíduo	5	9401,1640	1880,2328		
	Total	8	480053,0651			

Fonte: Autor (2022)

Portando, pode-se afirmar a significância estatística dos modelos. Assim, o modelo 1 (com as 4 variáveis) apresenta que 97,26% da variabilidade de bicicletas retiradas são explicadas pelas variáveis independentes (E, V, DE e PP), do mesmo modo, o modelo 3 representa que as variáveis independentes explicam 97,05% da variabilidade das bicicletas devolvidas.

O teste de significância F mostrou que em todos os modelos há pelo menos uma variável independente relacionada a variável dependente, porém é necessário analisar a significância de cada variável, separadamente, dentro do modelo, assim, foi realizado do teste t, onde apresenta uma hipótese nula ( $H_0$ ) de que o coeficiente da variável independente é igual a zero ( $p > 0,05$ ), em cada variável (Tabela 6).

**Tabela 6 - Coeficientes de regressão**

Modelo	Variável	Coeficientes	Coeficientes padronizados	Erro padrão	Stat t	<i>p-value</i>
1	E	37,698	0,000	12,413	3,037	0,039
	V (m <sup>2</sup> )	0,001	28,840	0,001	2,091	0,105
	DE (km)	0,058	0,080	0,046	1,282	0,269
	PP	0,017	0,013	0,019	0,894	0,422
2	E	30,633	0,000	11,818	2,592	<b>0,049</b>
	V (m <sup>2</sup> )	0,002	18,684	0,000	6,709	<b>0,001</b>
	PP	0,038	0,020	0,010	3,783	<b>0,013</b>
3	E	31,824	0,000	12,845	2,478	0,068
	V (m <sup>2</sup> )	0,001	27,308	0,001	2,143	0,099
	DE (km)	0,054	0,105	0,047	1,142	0,317
	PP	0,021	0,014	0,019	1,101	0,333
4	E	25,312	0,000	11,856	2,135	<b>0,086</b>
	V (m <sup>2</sup> )	0,002	20,677	0,000	6,765	<b>0,001</b>
	PP	0,041	0,021	0,010	4,070	<b>0,010</b>

**Fonte: Autor (2022)**

Analisando os valores obtidos por meio do teste t pode-se observar que as variáveis dos modelos 2 e 4 são estatisticamente significantes, assim pode-se rejeitar a hipótese de que os coeficientes são iguais a zero, com nível de significância de 5%, com exceção da variável E no modelo 4, que apresentou um *p-value* > 0,05.

Os coeficientes padronizados permitem quantificar e comparar a influência relativa que cada variável exerce sobre a previsão geral do modelo. No modelo 2 e 4 a variável mais relevante foi V (áreas verdes) em seguida PP (população potencial). Assim, pode-se assumir que a quantidade de áreas verdes próximas as estações possuem uma influência expressiva na sua demanda.

Deste modo, após as análises de comparações entre modelos e verificação dos pressupostos pode-se definir os modelos de regressão linear. Por apresentar valores significantes para o teste t e valores baixos para multicolinearidade entre as variáveis independentes, optou-se por adotar o modelo 2 para a equação das bicicletas retiradas e o modelo 4 para representar a demanda das bicicletas devolvidas. Ressalta-se que esse estudo possui um número limitado de amostras (quantidade de estações) sendo necessário realizar alguns ajustes quanto ao modelo de regressão e seus pressupostos.

A fim de garantir um melhor funcionamento das equações, algumas condições de intervalo das variáveis devem ser respeitadas, sendo,  $PP > 0$ , levando em consideração a necessidade de uma população potencial para geração da demanda. Para as regressões a constante  $\beta_0$  foi considerada nula.

Assim, equação da regressão linear para as bicicletas retiradas é apresentada na Equação 2.

$$Y_R = 30,6633 \cdot E + 0,0021 \cdot V + 0,0377 \cdot PP \quad (2)$$

Do mesmo modo, a Equação 3 representa o modelo de regressão linear para as bicicletas devolvidas.

$$Y_D = 25,3120 \cdot E + 0,0022 \cdot V + 0,0407 \cdot PP \quad (3)$$

Onde,  $Y_R$  é a quantidade de bicicletas retiradas e  $Y_D$  é a quantidade de bicicletas devolvidas, e as variáveis preditoras, E (educação), V (áreas verdes) e PP (população potencial).

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) foi de 96,91% e de 96,87% para as equações 2 e 3, respectivamente (Tabela 4). A Tabela 7 mostra a análise de variância para o modelo de regressão linear referente as bicicletas retiradas.

**Tabela 7 - Análise de variância para a demanda de bicicletas retiradas**

Variáveis	gl	SQ	MQ	F-value	F de significação
E	1	307223	307223	164,6500	0,0001
V	1	139676	139676	74,8560	0,0003
PP	1	26753	26753	14,3380	0,0128
Resíduos	5	9330	1866		

Fonte: Autor (2022)

Do mesmo modo, a Tabela 8 mostra a análise de variância para o modelo de regressão linear para as bicicletas devolvidas.

**Tabela 8 - Análise de variância para a demanda de bicicletas devolvidas**

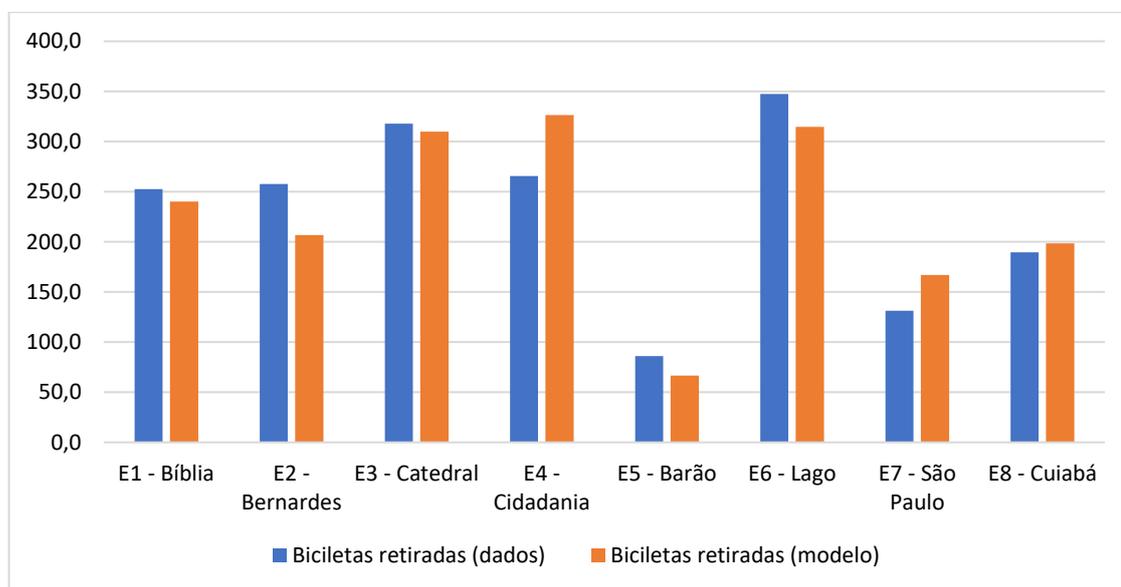
Variáveis	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F-value</i>	<i>F de significação</i>
E	1	293333	293333	156,0090	0,0001
V	1	146172	146172	77,7420	0,0003
PP	1	31146	31146	16,5650	0,0096
Resíduos	5	9401	1880		

Fonte: Autor (2022)

Observa-se que todas as variáveis apresentaram  $p\text{-value} < 5\%$  (F de significância), indicando uma influência significativa nos modelos de regressão com confiabilidade de 95% ou mais.

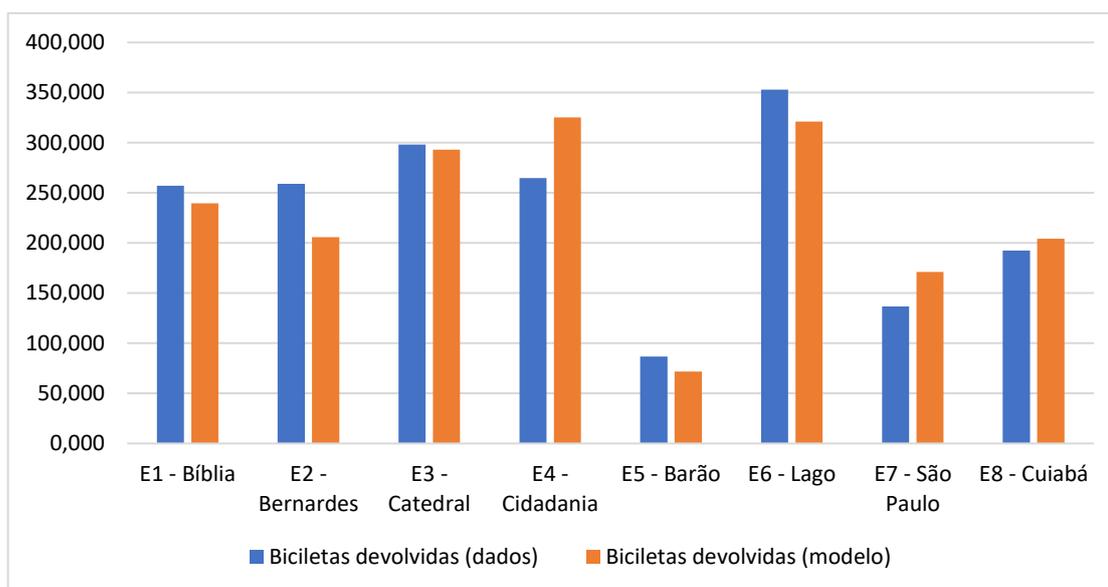
Assim, através das equações obtidas pôde-se comparar os valores previstos pelo modelo matemático com os valores fornecidos pela empresa prestadora do serviço (média mensal). Desse modo, a Figura 13 apresenta uma comparação entre os valores referente as bicicletas retiradas em cada estação.

**Figura 13 - Comparação entre as bicicletas retiradas (dados e modelo)**



Fonte: Autor (2022)

Como também, foi possível comparar o número de bicicletas devolvidas em cada estação, através dos dados fornecidos pela empresa com o modelo obtido (Figura 14).

**Figura 14 - Comparação entre as bicicletas devolvidas (dados e modelo)**

Fonte: Autor (2022)

Analisando os gráficos, observa-se que, de forma geral, os modelos seguiram um mesmo comportamento dos dados. A maior dispersão entre os dados reais e os estimados ocorreu na estação E4, onde apresentou uma diferença de aproximadamente 60 bicicletas, tanto na retirada quanto na devolução. Acredita-se que tal resultado se deu devido ao fato de existirem outras variáveis que não foram consideradas nesse estudo, mas que influenciam no uso dessas estações, como por exemplo as áreas de intenso comércio.

Como já mencionado anteriormente, a variável de Áreas Verdes (V) apresentou grande influência na demanda das estações, acredita-se que esse fato ocorra por conta do uso de áreas verdes para prática de exercícios físicos e lazer, pois segundo Ricci (2015), Frade e Ribeiro (2014) e o ITDP (2014) os sistemas de bicicletas compartilhadas contribuem para o aumento da prática de atividades físicas, melhorando a qualidade de vida dos usuários.

Quanto à variável Educação (E), acredita-se que ela não representa valores significantes na demanda, pois para utilizar o sistema o usuário precisa ter mais de 18 anos, o que acaba limitando o uso do sistema por estudantes do ensino fundamental e médio.

Além disso, a variável de população potencial (PP) também possui baixa influência, pois, segundo a literatura, sugere-se que a densidade não é uniforme,

sendo que a demanda dos usuários pode ocorrer em diferentes localidades da cidade, não necessariamente no seu local de origem (KABRA *et al.*, 2015).

Outro ponto destacado pela literatura, referente a fatores de geram demanda no SBC, é a instalação de estações localizadas ao longo de ciclovias, bem como estarem interligadas, facilitando o acesso e deslocamento, garantindo maior segurança no trânsito (GARCÍA-PALOMARES *et al.*, 2012; CHARDON *et al.*, 2017). O SBC do município de Cascavel possui todas as suas estações próximas às ciclovias, que também se interligam, exceto a Estação do Lago (E6).

Pode-se afirmar que os resultados obtidos permitiram uma melhor compreensão do funcionamento do SBC da cidade de Cascavel-PR, evidenciando que as características de entorno influenciam diretamente no uso das estações. Sendo possível observar os aspectos mais influentes, como por exemplo, a existência de áreas verdes (parques e praças) próximos às estações, e os aspectos menos influentes, como a população potencial e instituições de ensino.

Além disso, por se tratar de uma amostragem pequena, já que somente foram consideradas as 8 estações existentes, faz-se necessário uma quantidade maior de amostras para que o modelo obtido possa apresentar resultados mais precisos.

Portanto, sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas levando-se em consideração outros critérios não considerados nesse trabalho, mas que podem influenciar no uso das estações, a fim de se obter uma equação melhor ajustada e, assim, alcançar melhores resultados. Como por exemplo, considerar áreas de comércio, de restaurantes e bares, entre outros possíveis locais de atividades diárias.

No entanto, há variáveis desejáveis as quais não temos informações, tanto por serem complexas de reunir um conjunto suficiente de informações, quanto por não serem fáceis de se quantificar, como por exemplo, aspectos culturais (relacionados a cultura do ciclismo), qualidade da infraestrutura cicloviária, integração entre os modais, método de cadastro, congestionamentos, entre outros (CHARDON *et al.*, 2017).

Ainda segundo Chardon (2017), outro fator que também interfere no uso do sistema é o nível de incentivo fornecido pelo município ao implementar um SBC. Como políticas de incentivo e suporte público, bem como a cooperação dos motoristas para com os ciclistas.

Através dos resultados alcançados, espera-se que este estudo sirva de contribuição para planejamentos futuros de expansão do SBC na cidade, avaliando

os critérios que influenciam na demanda do sistema. Além da possibilidade de contribuição do modelo para a avaliação de implementação de novos sistemas em outras regiões. Visto que, a interpretação dos fatores geradores de demanda nos sistemas de bicicletas compartilhadas é de extrema importância para que ele possa atender de forma satisfatória sua finalidade. Os estudos voltados para essa questão auxiliam na tomada de decisão quanto à localização das estações dos novos SBC, desse modo, otimizando o funcionamento do sistema (VOGEL *et al.*, 2011; SARAIVA *et al.*, 2019).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O número de programas de bicicletas compartilhadas vem crescendo rapidamente nos últimos anos, bem como o interesse na mobilidade urbana através do uso de bicicletas. Porém o número de estudos sobre esse tema ainda é muito limitado na literatura e há vários fatores que ainda precisam ser detalhados (FISHMAN *et al.*, 2013).

Com este trabalho foi possível realizar um estudo de caso do sistema de bicicletas compartilhadas na cidade de Cascavel-PR, avaliando-o de forma quantitativa e qualitativa. Identificou-se as características de entorno das estações geradoras de demanda, desse modo, estimou-se o número de bicicletas retiradas e devolvidas em cada estação através de um modelo matemático obtido através do método da regressão linear múltipla.

Através desse estudo foi possível identificar as estações com maior potencial de demanda. As estações do Lago (E6), Catedral (E3) e Cidadania (E4) foram as estações mais utilizadas durante o período de estudo, entre julho/2021 a julho/2022, portanto, apresentam maior potencial de demanda de acordo com as suas características de entorno. Dessa forma, sugere-se a que sejam realizados estudos em relação a futuras ampliações dessas estações.

Como também, as estações Barão (E5), São Paulo (E7) e Cuiabá (E8) apresentaram uma menor demanda em comparação as demais, esse fato se deu, possivelmente, por estarem localizadas em áreas mais afastadas da região central da cidade e por não apresentarem pontos geradores de demanda relevantes, como parques e áreas de lazer. No entanto, elas exercem grande influência para o funcionamento do sistema, permitindo uma maior abrangência em áreas afastadas, e assim, facilitando o acesso dos usuários residentes dessas regiões para as demais localidades.

Por meio desse estudo, espera-se que, a partir das equações, realizando os ajustes necessários, seja possível avaliar o potencial de outros locais para a implantação de novas estações no SBC do município, com base nos fatores levantados nesse trabalho. Assim, para que possíveis projetos de expansão do programa “Cascavel Vai de Bici” apresentem um melhor aproveitamento e otimização do sistema, atendendo de maneira satisfatória a demanda de seus usuários.

Além disso, um dos objetivos desse estudo é auxiliar no desenvolvimento de novos sistemas, podendo ser adaptado para outras cidades, apenas realizando os ajustes necessários dos critérios conforme a necessidade de cada região. O método pode ajudar tanto na determinação da localização da estação como também dimensioná-la.

Por fim, ressalta-se que essa pesquisa se defrontou com algumas limitações, o pequeno número de amostras (número de estações) para a determinação do modelo através da regressão linear, influenciando na precisão dos modelos, como também a quantidade de critérios utilizados como fatores geradores de demanda. Nesse sentido, sugere-se aos estudos posteriores sejam avaliados a incorporação de novas variáveis, a fim de se obter uma equação melhor ajustada e, assim, alcançar resultados mais satisfatórios.

## REFERÊNCIAS

- AMÉRICO, B. L.; LACRUZ, A. J. Contexto e desempenho escolar: análise das notas na Prova Brasil das escolas capixabas por meio de regressão linear múltipla. **Revista De Administração Pública**. v. 51, n. 5, p. 854-878, out. 2017.
- BARBOSA, A. S.; SOUZA, J. N. S. Sistema de bicicletas compartilhadas: uma pesquisa exploratória sobre o potencial deste mercado na cidade de nova Iguaçu-RJ. **Revista Inovação, Projetos e Tecnologias – IPTEC**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 148-167, 2021.
- BARCELOS, L. R.; SILVA, N. R. Mobilidade Urbana no Brasil: Um Direito Social. **Virtuajus**, Belo Horizonte, v. 3, n. 5, p. 133-152, 2º sem. 2018.
- BIKE ITAÚ. Aluguel de bicicleta em São Paulo. **TEMBICI**, 2022. Disponível em: <https://bikeitau.com.br/sao-paulo/>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- BIKE ITAÚ. Aluguel de bicicleta Rio de Janeiro. **TEMBICI**, 2022. Disponível em: <https://bikeitau.com.br/rio/>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- BRASIL. **Lei 12.587, de 3 De janeiro de 2012**. Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília: Casa Civil, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm). Acesso em: 13 abr. 2022.
- CADURIN, L. P. **Demanda potencial para um sistema de compartilhamento de bicicletas pedelecs**: o caso de um campus universitário. 2016. Dissertação - Mestrado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.
- CARVALHO, C. H. R. **Mobilidade Urbana Sustentável**: conceitos, tendências e reflexões. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2016.
- CASCAVEL VAI DE BICI. Mobhis, 2022. Disponível em: <https://cascavelvaidebici.mobhis.com.br/>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- CHARDON, C. M., CARUSO, G., & THOMAS, I. Bicycle sharing system ‘success’ determinants. **Transportation Research Part A, Policy and Practice**, v. 100, n. 1, p. 202-214. 2017.
- DASTJERDI, A. M.; MORENCY, C. Bike-Sharing Demand Prediction at Community Level under COVID-19 Using Deep Learning. **Sensors**, V. 22, p. 1-18, jan. 2022.
- DEMAIO, P. Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. **Journal of Public Transportation**, v. 12, n. 4, p. 41-56, 2009.
- DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). **Frota de veículos no Brasil por município**. Fevereiro de 2022. DENATRAN, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2022>. Acesso em: 22 de abril de 2022.

DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). **Frota de veículos no Brasil por município**. Fevereiro de 2012. DENATRAN, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 22 de abril de 2022.

FILHO, A. C.; TOEBE, M.; BURIN, C.; SILVEIRA, T. R.; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.12, p.1363-1371, dez. 2010.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N. Bike Share: A Synthesis of the Literature. **Transport Reviews**, p. 148-165, mar. 2013.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N. Bike share's impact on car use: Evidence from the United States, Great Britain, and Australia. **Transportation Research Part D**, v. 31, p. 13–20, 2014.

FRADE, I.; RIBEIRO, A. Bicycle sharing systems demand. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, 111, p. 518-527, 2014.

GARCÍA-PALOMARES, J. C.; GUTIÉRREZ, J.; LATORRE M. Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. **Applied Geography**, v. 35, p. 235-246, nov. 2012.

HANDY, S. L.; XING, Y.; BUEHLER, T.J. Factors associated with bicycle ownership and use: a study of six small US cities. **Transportation**, v. 37, n. 6, p. 967-985, 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Frota de Veículos no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28122>. Acesso em: 02 mai. 2022.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Panorama Município Cascavel-PR**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel/panorama>. Acesso em: 02 mai. 2022.

IEA (International Energy Agency). CO2 Emissions from fuel combustion: CO2 emissions by sector. **IEA Statistics 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 15 abr. de 2022.

INTELLIGENT TRANSPORT. **Bike rental schemes in Lyon and Nantes reveal record results**. 2019. Disponível em: <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/78948/bike-rental-schemes-in-lyon-and-nantes-reveal-record-results/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). **Caderno Estatístico Município de Cascavel**. Maio de 2022. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85800&btOk=ok>. Acesso em: 02 mai. 2022.

ITDP (Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento). **Guia de planejamento de sistemas de bicicletas compartilhadas**. Rio de Janeiro, ITDP, fev. 2014.

ITDP (Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento). **Sistemas de bicicletas compartilhadas em Belo Horizonte, Distrito Federal, Rio de Janeiro e São Paulo**. Rio de Janeiro, ITDP, jun. 2016.

KABAK, M.; ERBAS, M.; ÇETINKAYA, C.; OZCEYLAN, E. A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share station. **Journal of cleaner production**, v. 201, p. 49-60, 2018.

KABRA, A.; BELAVINA, E.; GIROTRA, K. Bike-Share Systems: Accessibility and Availability (February 8, 2018). **Chicago Booth Research Paper**. 59 p., jan. 2015.

KUNZ, M., NECKEL, A., & KUJAWA, H. A. The influence of public policies on urban mobility: a comparative study between Porto Alegre (Brazil) and Washington D.C. (United States). **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 11, n. 3, p. 295-304, 2017.

LABMOB-UFRJ (Laboratório de Mobilidade Sustentável). **Micromobilidade Brasil**. 2022. Disponível em: <https://micromobilidadebrasil.org/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

LIN, J. R.; YANG, T. H. Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. **Transportation Research**, Part E, v. 47, p. 284-294, 2011.  
MARQUEZ, R. Votem PROVO para ter tempo bom. **PISEAGRAMA**, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://oanews.com.br/votem-provo-para-ter-tempo-bom/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

MARTINEZ, L. M.; CAETANO, L.; EIRÓ, T.; CRUZ, F. An Optimisation Algorithm to Establish the Location of Stations of a Mixed Fleet Biking System: An Application to the City of Lisbon. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 513-524, 2012.

MEDDIN, R. *et al.* **The Meddin Bike-sharing World Map**. 2022. Disponível em: <http://bikesharingworldmap.com/>. Acesso em: 03 abr. 2022.

MEHTA, N. GIFT ECONOMY BICYCLES MAKE A COMEBACK. **Service Space**, 2008. Disponível em: <https://www.servicespace.org/blog/view.php?id=1946>. Acesso em: 21 abr. 2022.

MOBILIZE BRASIL. **Expresso #20: Bikes elétricas para compartilhar. Mas só no Rio**. 05 out. 2020. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/12333/expresso-20-bikes-eletricas-para-compartilhar-mas-so-no-rio.html>. Acesso em: 22 abr. 2022.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788521637448. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637448/>. Acesso em: 08 out. 2022.

MOVE SAMBA. Bicicletas Compartilhadas Do Bike BH. **Bike BH**, 2022. Disponível em: <http://www.movesamba.com.br/bikebh/home.aspx>. Acesso em: 21 abr. 2022.

MUNICÍPIO DE CASCAVEL. **DECRETO Nº 11.743, DE 24 MARÇO DE 2014**. Fica criado o PDI - programa de desenvolvimento integrado, na secretaria municipal de planejamento e urbanismo visando atender as ações do contrato de empréstimo nº 2999/OC-BR. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/c/cascavel/decreto/2014/1175/11743/decreto-n-11743-2014-fica-criado-o-pdi-programa-de-desenvolvimento-integrado-na-secretaria-municipal-de-planejamento-e-urbanismo-visando-atender-as-acoes-do-contrato-de-emprestimo-n-2999-oc-br-2020-12-18-versao-compilada>. Acesso em: 22 abr. 2022.

MUNICÍPIO DE CASCAVEL. **Lei n.º 6.062/2012 de 18 de junho de 2012**. Aprova o Plano Municipal Viário e de Transportes de Cascavel. Cascavel, Órgão Oficial Eletrônico, 2012. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/c/cascavel/lei-ordinaria/2012/607/6062/lei-ordinaria-n-6062-2012-aprova-o-plano-municipal-viario-e-de-transportes-de-cascavel>. Acesso em: 21 abr. 2022.

OLMOS, C. A. M. **Proposta de um sistema de bicicletas compartilhadas para uma cidade de médio porte**. 2021. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, jun. 2021.

RAMIS, J. E.; SANTOS, E. A. Uso de automóveis e o caos urbano – considerações sobre o planejamento de transportes das grandes cidades. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 164-177, out. 2012.

RICCI, M. Bike sharing: a review of evidence on impacts and processes of implementation and operation. **Research in Transportation Business & Management**, v. 15, p. 28-38, 2015.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O Plano de Mobilidade Urbana e o futuro das cidades. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 79, p. 55-66, 2013.

SARAIVA, P. P.; RIBEIRO, L. A.; NECKEL, A.; SILVA, J. L.; LERMEN, R. T. Avaliação da influência do entorno no uso das estações de bicicletas compartilhadas. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p 1-15, 2019.

SHAHEEN, S. A.; GUZMAN, S.; ZHANG, H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia. **UC Davis: Institute of Transportation Studies**, p. 159–167, jan. 2010.

TRAN, T. D.; OVTRACHT, N.; D'ARCIER, B. F. Modeling Bike Sharing System using Built Environment Factors. **Procedia CIRP**, v. 30, p. 293-298, 2015.

UNIOESTE. **Eventos Unioeste**. 2018. Disponível em: <https://eventosunioeste.unioeste.br/index.php/conheca-cascavel>. Acesso em: 12 set. 2022.

VOGEL, P.; GREISER, T.; MATTFELD, D. C. Understanding bike-sharing systems using data mining: exploring activity patterns. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 20, p. 514-523, 2011.