

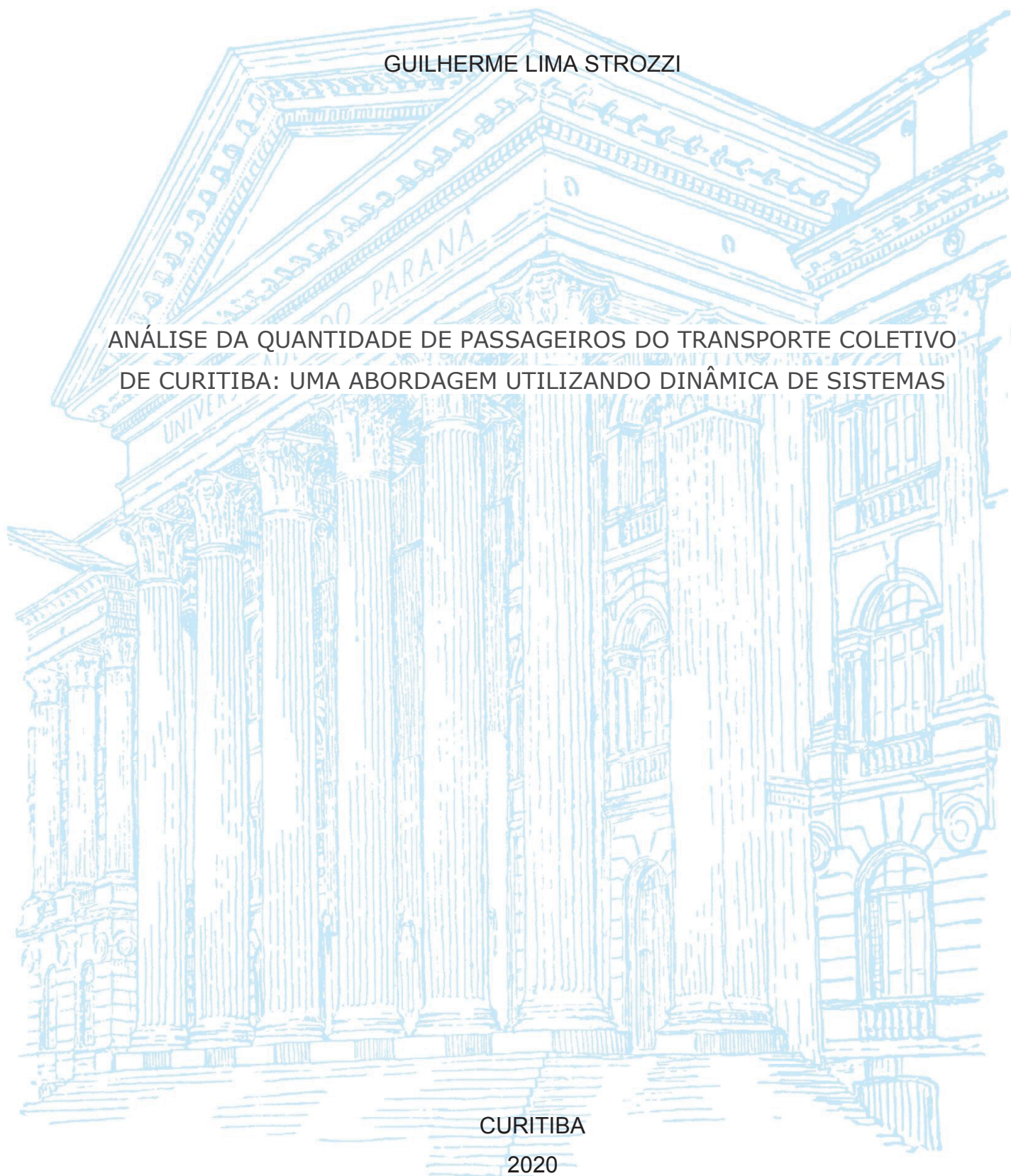
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME LIMA STROZZI

ANÁLISE DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS DO TRANSPORTE COLETIVO
DE CURITIBA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS

CURITIBA

2020



GUILHERME LIMA STROZZI

ANÁLISE DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS DO TRANSPORTE COLETIVO DE
CURITIBA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pécora Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S926a	<p data-bbox="550 1205 1133 1288">Strozzi, Guilherme Lima Análise da quantidade de passageiros do transporte coletivo de Curitiba: uma abordagem utilizando dinâmica de sistemas [recurso eletrônico] / Guilherme Lima Strozzi. – Curitiba, 2020.</p> <p data-bbox="550 1326 1109 1370">Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.</p> <p data-bbox="550 1406 1141 1451">Orientador: José Eduardo Pécora Junior – Coorientador: Cassius Tadeu Scarpin</p> <p data-bbox="550 1487 1149 1550">1. Transporte urbano – Curitiba (PR). 2. Transportes coletivos. 3. Mobilidade urbana. I. Universidade Federal do Paraná. II. Pécora Junior, José Eduardo. III. Scarpin, Cassius Tadeu. IV. Título.</p> <p data-bbox="997 1585 1149 1608">CDD: 388.4096162</p>
-------	--

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de GUILHERME LIMA STROZZI intitulada: ANÁLISE DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS DO TRANSPORTE COLETIVO DE CURITIBA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS, sob orientação do Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Maio de 2020.

Assinatura Eletrônica

29/05/2020 11:17:17.0

JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

01/06/2020 14:44:42.0

EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

01/06/2020 14:31:37.0

JOSÉ ROBERTO FREGA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

29/05/2020 10:49:36.0

GUSTAVO VALENTIM LOCH
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

29/05/2020 10:22:53.0

JOSE MARCELO ALMEIDA PRADO CESTARI
Avaliador Externo (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO
DA INFORMAÇÃO - UFPR)

Dedico este estudo a minha esposa Patricia, meus filhos Sofia e Lorenzo e toda minha família, que me apoiou e esteve ao meu lado durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar nos momentos mais difíceis e me fazer acreditar que eu era capaz de prosseguir.

A minha esposa Patricia, por estar ao meu lado nos momentos difíceis e sempre me apoiar, especialmente por me incentivar, quando sacrificava os dias e as noites em prol da realização deste estudo.

Aos meus filhos Sofia e Lorenzo, por estarem sempre lá com aquele sorriso no rosto sem pedir nada em troca.

Aos meus pais Vitor Hugo e Regina Helena, pelo apoio incondicional e pela educação que me deram para chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Eduardo Pécora Jr., pela sua amizade, pela atenção e pelas cobranças, que sempre tinham como objetivo a realização deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin, que desde o momento em que decidi entrar no Programa de Mestrado em Engenharia de Produção, sempre um amigo e apoiador.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

À SETRANSP - Empresas de Ônibus de Curitiba e Região Metropolitana, pelo auxílio no fornecimento dos dados que embasaram os estudos.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Trinta raios convergem ao vazio do centro da roda
Através dessa não-existência
Existe a utilidade do veículo

A argila é trabalhada na forma de vasos
Através da não-existência
Existe a utilidade do objeto

Portas e janelas são abertas na construção da casa
Através da não-existência
Existe a utilidade da casa

Assim, da existência vem o valor
E da não-existência, a utilidade
(Lao Tse)

RESUMO

O transporte coletivo está presente no dia a dia dos moradores dos municípios. Na presente pesquisa é apresentada uma modelagem para a compreensão do sistema de transporte urbano público de Curitiba, baseada em Dinâmica de Sistemas, e uma análise de como as variáveis selecionadas podem impactar na quantidade de passageiros transportadas diariamente. A metodologia Dinâmica de Sistemas permite a análise de sistemas complexos, mostrando como uma mudança no valor de uma de suas variáveis pode afetar o sistema como um todo. O modelo desenvolvido se propõe a fazer a previsão mensal da quantidade de passageiros no município de Curitiba, e para isso utiliza quatro classes de variáveis: quantitativas do sistema de transporte, financeiras do sistema de transporte, socioeconômicas e de mobilidade. Para melhor avaliação o modelo proposto foi inicialmente subdividido em sete subsistemas: valor da tarifa, veículos próprios, passageiros transportados por taxis, transporte por aplicativos, tempo de trajeto, tamanho da população e total de estudantes. Estes subsistemas quando juntos criam um sistema complexo que permite a análise da quantidade de passageiros potenciais para o transporte público de passageiros. Para a validação do modelo foram utilizados dados públicos e dados fornecidos pelo SETRANSP (Sindicato das Empresas de Transporte Público de Curitiba) que serviram de base para as entradas do modelo proposto. O resultado foi comparado com os dados reais mensais da quantidade de passageiros do município de Curitiba. Utilizando o modelo com prazo de 36 meses, tem-se um erro de 2,53%, mostrando uma aderência significativa para um sistema complexo como este, quando considerado somente o ano de 2019 o erro foi de -0,05%. O modelo apresentado pode ser utilizado para outros sistemas de transporte urbano público com as devidas adaptações de suas particularidades, se necessário.

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas, Transporte Urbano Público, Mobilidade Urbana.

ABSTRACT

Public transport is present in the daily lives of residents of the municipalities. The present research introduces a model for understanding the public urban transport system in Curitiba, based on System Dynamics, and an analysis of how the selected variables can affect the number of passengers transported daily. The System Dynamics methodology allows analysis of complex systems, showing how a change in the value of one of the variable variables can affect the system as a whole. The model developed allows for a monthly forecast of the number of passengers in the municipality of Curitiba, to the end of this uses four classes of variables: quantitative of the transport system, financial of the transport system, socioeconomic and mobility. For better evaluation of the proposed model, it was subdivided into seven subsystems: fare value, personal vehicles, passengers transported by taxis, transportation by applications, exhibition time, population size and total students. These subsystems when together create a complex system that allows the analysis of the number of passengers lost to public passenger transport. To validate the model, we use open source data and also the data provided by SETRANSP (Sindicato das Empresas de Transporte Público de Curitiba). The result was compared with the actual monthly data on the number of passengers in the municipality of Curitiba. Using the 36-month term model, it has an error of 2.53%, showing a significant adherence to a complex system like this, when considered only in the year 2019 or an error was -0.05%. The model presented can be used for other public urban transport systems with the necessary adaptations of their particularities, if necessary.

Keywords: System Dynamics, Public Urban Transport, Urban Mobility

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO PRÁTICO DE <i>LOOPING</i> CAUSAL	23
FIGURA 2 – MODELO DE <i>LOOPING</i> CAUSAL	23
FIGURA 3 – RELACIONAMENTOS E CONECTORES	25
FIGURA 4 – ENLACES	26
FIGURA 5 – ENLACE REFORÇADOR	26
FIGURA 6 – ATRASOS	27
FIGURA 7 – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO	28
FIGURA 8 – LINHAS OTIMIZADAS	30
FIGURA 9 – DC O USO DE AUTOMÓVEIS E TRANSPORTE PÚBLICO	33
FIGURA 10 – DC PARA O MODELO DE TRANSPORTE BRASILEIRO	34
FIGURA 11 – ETAPAS DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS	36
FIGURA 12 – DC PARA O VALOR DA TARIFA	41
FIGURA 13 – DC PARA A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARTICULARES	42
FIGURA 14 – DC PARA A PAX TRANSPORTADOS POR TAXI	42
FIGURA 15 – DC PARA O TRANSPORTE POR APLICATIVOS	43
FIGURA 16 – DC PARA TEMPO DE TRAJETO	43
FIGURA 17 – DC PARA TAMANHO DA POPULAÇÃO	44
FIGURA 18 – DC PARA TOTAL DE ESTUDANTES	44
FIGURA 19 – DC PARA A PAX	46
FIGURA 20 – DC PARA VEÍCULOS DE PASSEIO	48
FIGURA 21 – DC PARA NÍVEL DE ATIVIDADE ECONÔMICA	54
FIGURA 22 – DC PARA PREÇO DA PASSAGEM	57
FIGURA 23 – DC PARA ALUNOS MATRICULADOS	60
FIGURA 24 – DC PARA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS	72
FIGURA 25 – DIAGRAMA CAUSAL DA OBRA HAMLET	94

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ETAPAS DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS	37
QUADRO 2 – VARIÁVEIS QUANTITATIVAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE	38
QUADRO 3 – VARIÁVEIS FINANCEIRAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE	39
QUADRO 4 – VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS	39
QUADRO 5 – VARIÁVEIS DE MOBILIDADE	39
QUADRO 6 – VARIÁVEIS VALIDAÇÃO	47

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – QUANTIDADE DE VEÍCULOS DE PASSEIO 2017	49
GRÁFICO 2 – QUANTIDADE DE AUTOMÓVEIS 2017	51
GRÁFICO 3 – QUANTIDADE DE MOTOCICLETAS 2017	52
GRÁFICO 4 – QUANTIDADE DE TRABALHADORES EMPREGADOS 2017	55
GRÁFICO 5 – VALOR DO PREÇO DA PASSAGEM 2017	58
GRÁFICO 6 – MATRÍCULAS TOTAIS 2017 E JANEIRO DE 2018	62
GRÁFICO 7 – MATRÍCULAS MUNICIPAL 2017 E JANEIRO DE 2018	64
GRÁFICO 8 – MATRÍCULAS REDE FEDERAL 2017 E JANEIRO DE 2018	65
GRÁFICO 9 – MATRÍCULAS REDE PRIVADA 2017 E JANEIRO DE 2018	67
GRÁFICO 10 – MATRÍCULAS REDE ESTADUAL 2017 E JANEIRO DE 2018	69
GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2019	74
GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA PERÍODO 2017-2019	75
GRÁFICO 13– COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2018	78
GRÁFICO 14 – PREVISÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2020	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUANTIDADE DE VEICULOS DE PASSEIO 2017.....	50
TABELA 2 – QUANTIDADE DE AUTOMÓVEIS 2017	51
TABELA 3 – QUANTIDADE DE MOTOCICLETAS 2017	53
TABELA 4 – QUANTIDADE DE TRABALHADORES EMPREGADOS 2017	56
TABELA 5 – VALOR DO PREÇO DA PASSAGEM 2017	59
TABELA 6 – MATRÍCULAS TOTAIS 2017 E JANEIRO DE 2018	63
TABELA 7 – MATRÍCULAS REDE MUNICIPAL 2017 E JANEIRO DE 2018.....	64
TABELA 8 – MATRÍCULAS REDE FEDERAL 2017 E JANEIRO DE 2018	66
TABELA 9 – MATRÍCULAS REDE PRIVADA 2017 E JANEIRO DE 2018	68
TABELA 10 – MATRÍCULAS REDE ESTADUAL 2017 E JANEIRO DE 2018	69
TABELA 11 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2019	74
TABELA 12 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA PERÍODO 2017-2019	76
TABELA 13 – COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2018	78
TABELA 14 –QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PREVISTOS PARA O ANO DE 2020	79
TABELA 15 – QUANTIDADE DE VEICULOS DE PASSEIO 2013 A 2016	88
TABELA 16 – QUANTIDADE DE EMPREGOS 2013 A 2016	90
TABELA 17 – VALOR DA PASSAGEM DE 2013 A 2016	92
TABELA 18 – QUANTIDADE DE MATRÍCULAS NAS REDES MUNICIPAL E ESTADUAL 2013 A 2016	93
TABELA 19 – QUANTIDADE DE MATRÍCULAS NAS REDES MUNICIPAL E ESTADUAL 2013 A 2016	93

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

DC	- Diagrama Causal
DS	- Dinâmica de Sistemas
PAX	- Quantidade de passageiros transportados
SETRANSP	- Sindicato das Empresas de Ônibus de Curitiba e Região Metropolitana
TP	- Transporte Público

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 DINÂMICA DE SISTEMAS.....	19
2.2 FUNDAMENTOS DA DINÂMICA DE SISTEMAS	22
2.3 UTILIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO.....	28
2.3.1 Planejamento da demanda de passageiros	29
2.3.2 Custos do transporte público.....	31
2.3.3 A aplicação da DS nos transportes públicos	32
2.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL EM DINÂMICA DE SISTEMAS	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 DETALHAMENTO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	38
3.1.1 Variáveis.....	38
3.1.2 Subsistemas.....	40
3.1.2.1 Valor da Tarifa	40
3.1.2.2 Veículos próprios	41
3.1.2.3 Passageiros transportados por taxis.....	42
3.1.2.4 Transporte por aplicativos	43
3.1.2.5 Tempo de trajeto.....	43
3.1.2.6 Tamanho da população	44
3.1.2.7 Total de estudantes	44
3.1.3 Diagrama Causal proposto.....	45
3.2 VALIDAÇÃO DO MODELO	47
3.2.1 Veículos de Passeio	47
3.2.2 Nível de atividade econômica.....	54
3.2.3 Preço da Passagem	57
3.2.4 Alunos Matriculados	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71

5 CONCLUSÕES	80
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE 1 – DADOS PARA INICIALIZAÇÃO DO MODELO	88
ANEXO 1 – DIAGRAMA CAUSAL DA OBRA HAMLET	94

1 INTRODUÇÃO

O transporte das pessoas nas cidades é um grande desafio, todos os dias bilhões de pessoas, em todo o mundo, têm que se deslocar de suas residências até seu trabalho, escola, entre outros. Atualmente, como os governos municipais estão analisando os deslocamentos da população? Será que de maneira clara e objetiva? Como algumas vezes ou esta análise deixa de ser feita, ou é baseada somente em objetivos políticos dos governantes, as decisões tomadas podem não considerar os reais anseios e necessidades da população, somente em Curitiba mais de 70 mil pessoas utilizam mais de uma hora em deslocamento a seu local de trabalho (IBGE, 2010) Portanto, o problema de transporte urbano público, quando relacionado à mobilidade urbana, é um assunto de relevância em qualquer planejamento político na atualidade.

No Brasil essa realidade é fruto de um descompasso nas políticas públicas: aumento da renda e do crédito para a aquisição de veículos individuais privados, sem uma correspondente política efetiva que imprima competitividade para os transportes públicos (SILVEIRA; COCCO, 2013). Em Curitiba esta realidade é percebida na velocidade média dos ônibus expressos, que na década de 80 era de 22,66 km/h e passou para 18,73 km/h em 2009 (IPPUC, 2010).

Para avaliar este problema é importante compreender a demanda existente e, com isso, planejar a demanda futura. Por meio deste planejamento pode-se ter um auxílio na detecção e diagnóstico para antecipar problemas e desafios do sistema, auxiliando no processo de tomada de decisão (SHAH *et al.*, 2013).

Somente atender a demanda de passageiros não deve ser o objetivo de um transporte público eficiente, deve-se também considerar fatores sociais, econômicos e ambientais para se obter, assim, um sistema de transporte eficiente e justo (SILVA, DA *et al.*, 2014)

Levando em consideração estes desafios, neste trabalho será apresentado um modelo para a análise da quantidade de passageiros transportados e os fatores que influenciam a sua decisão. Pretende-se com este modelo mostrar as relações entre os fatores e como eles auxiliarão a administração pública a desenvolver análises de como melhorar o deslocamento de seus moradores e aumentar a utilização do transporte coletivo em detrimento de outros modais.

O problema será abordado pela ótica da dinâmica de sistemas, que é uma metodologia desenvolvida em nos anos 50 no MIT (Massachusetts Institute of Technology) pelo professor Jay Wright Forrester, para estudar o comportamento dinâmico de sistemas complexos. A dinâmica de sistemas tem a intenção de simular o comportamento dos sistemas sociais, explicando esse comportamento e projetando políticas eficazes para melhorar o desempenho do sistema¹.

Ao final deste estudo sobre o transporte coletivo do município de Curitiba, poderá ser avaliada a viabilidade do uso desta metodologia e seu possível uso futuro em outros municípios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o sistema de transporte urbano público de Curitiba de forma a compreender a variação da quantidade de passageiros, baseada em dinâmica de sistemas.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Verificar como a dinâmica de sistemas pode ser utilizada para elaborar o modelo do transporte coletivo;
- b) Elaborar um modelo de diagrama causal para o transporte coletivo.
- c) Analisar quais as variáveis que possuem maior impacto no sistema;

¹ <https://www.systemdynamics.org/assets/docs/jwf-profile-in-op.pdf>

1.2 JUSTIFICATIVA

Este estudo se justifica pela crescente necessidade de aumentar o uso do transporte coletivo em detrimento do transporte individual, a American Public Transport Association (2020) fez uma projeção do impacto econômico com recomendações de investimentos em transporte público nos Estados Unidos até o ano de 2040, tendo como principais resultados: o uso do transporte público em detrimento do individual, incluindo taxi e transporte por aplicativos, pode gerar uma economia anual de U\$11,7 bilhões ao ano, criação de 2 milhões de empregos diretos e indiretos e arrecadação de U\$16,2 bilhões ao ano em impostos.

A dinâmica de sistemas será utilizada para elaborar o modelo, por meio do qual pretende-se contribuir para evidenciar os fatores que interferem na decisão dos usuários em definir o transporte coletivo como sua opção de mobilidade. Este estudo pode auxiliar os municípios e empresas de transporte coletivo na tomada de decisões sobre a mobilidade urbana.

Este estudo pode auxiliar os municípios e empresas de transporte coletivo na tomada de decisões sobre a mobilidade urbana.

Para a comunidade acadêmica este estudo se justifica pelo uso de uma metodologia pouco explorada para a análise de mobilidade urbana e que pode abrir um novo caminho e proporcionar novas soluções para trabalhos futuros.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o trabalho, com justificativa e objetivos. No segundo, é apresentada a fundamentação teórica do trabalho. No terceiro capítulo são detalhadas as variáveis, os diagramas causais e a validação do modelo. No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos com o modelo. No quinto capítulo as conclusões e recomendações são formuladas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão definidos os conceitos básicos da dinâmica de sistemas, de transporte público e da relação entre eles.

2.1 DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas (DS) é uma metodologia interdisciplinar utilizada para a compreensão de sistemas complexos (FONTOURA *et al.*, 2018).

A DS vem sendo desenvolvida desde 1956 no MIT por Jay W. Forrester, inicialmente com o objetivo de compreender as falhas e sucessos das organizações, analisando-se quais decisões levavam ao crescimento ou queda dos indicadores. Posteriormente percebeu-se que a DS poderia ser utilizada em grande escala para sistemas sociais (FORRESTER, 1996).

Forrester ingressou no MIT em 1939 para estudar Engenharia Elétrica, onde começou a trabalhar no laboratório de alta-tensão e em seguida no laboratório de servomecanismos. Durante a II Guerra Mundial o laboratório de servomecanismos do MIT estava desenvolvendo controles para armas antiaéreas baseadas em radares (GONZÁLEZ, 2016). Continuou trabalhando na área militar e em computação digital até o ano de 1956, quando considerou que os grandes avanços nesta área já haviam sido realizados. Neste ano passou a lecionar na Escola de Negócios Sloan do MIT, onde utilizou seus conhecimentos de engenharia e computação para analisar modelos de sistemas sociais. Desde que Forrester publicou o livro "Industrial Dynamics" em 1961 a disciplina de Dinâmica de Sistemas teve seu início (FERNANDES, 2001).

A Teoria Geral dos Sistemas - TGS começou a ser estudada em 1950 por Ludwig von Bertalanffy, que buscava entender o comportamento de um organismo vivo por meio de um modelo explicativo.

“A teoria dos sistemas de Bertalanffy, baseado em seu conhecimento biológico, procurou evidenciar inicialmente as diferenças entre sistemas físicos e biológicos. Ao tentar entender além do funcionamento isolado dos sistemas menores existentes em um ser vivo, como por exemplo, o sistema circulatório, o sistema respiratório e outros, e a importância do inter-relacionamento desses sistemas menores, entre si e com o próprio sistema maior (o sistema ser vivo), Bertalanffy conseguiu na verdade, mais do que diferenciar os sistemas, mas sim entender o funcionamento genérico de qualquer sistema existente no Universo”
(ARAÚJO, 2016)

Segundo Bertalanffy (1969), um sistema possui vários perigos aparentes, o maior deles e que os projetistas de sistemas tentam excluir é o que no momento da modelagem os torna imprevisíveis, o fator humano.

Um sistema complexo é um grupo ou organização composto por várias peças, estas peças, quando colocadas em larga escala, possuem comportamentos que não são facilmente previsíveis (MITCHELL; NEWMAN, 2002). Um exemplo é a capacidade do sistema imunológico em diferenciar o que é meu do que é do outro, e proteger o próprio organismo.

Com base no conceito de sistemas, a dinâmica de sistemas foi desenvolvida como uma disciplina para compreender como as políticas nas empresas geram sucesso ou fracasso, crescimento ou decadência, entre outros. Posteriormente, por meio do contato de Forrester com John Collins, prefeito de Boston, percebeu-se que a dinâmica de sistemas não estava limitada ao campo da Administração, mas poderia ser utilizada em grandes sistemas sociais. Deste estudo, Forrester publicou o seu "best seller" "Urban Dynamics" (1969), que mostra como as cidades crescem e se estagnam e como as políticas podem influenciar diretamente na vida dos cidadãos. Forrester também ampliou o alcance da dinâmica de sistemas ao Clube de Roma, que originaram os livros "World Dynamics" (1973) e "Limits of Growth" (1972) de Donella Meadows.

"A dinâmica do sistema usa modelos de simulação computacional para revelar como estruturas e políticas conhecidas produzem um comportamento inesperado e problemático. Os modelos computacionais são construídos a partir de informações descritivas que geralmente já são conhecidas. Tais informações dizem respeito a quem está fazendo o quê, as informações que cada pessoa tem disponíveis, o tempo que demora a agir e o que os indivíduos farão sob uma variedade de pressões. A mesma abordagem se aplica aos sistemas não humanos na natureza e na mudança física." (FORRESTER, 1996).

Posteriormente, Peter Senge, engenheiro formado em Stanford e orientado de Forrester, trabalhou na década de 70 na realização de seminários com executivos, introduzindo a prática do pensamento sistêmico dinâmico no seio das grandes organizações. A "quinta disciplina" referenciada na obra de Senge é o PENSAMENTO SISTÊMICO que utiliza todo o ferramental metodológico desenvolvido por Jay Forrester na década de 50 e estruturado no início da década de 60 no livro "Industrial Dynamics" (VILLELA, 2005).

“dinâmica do sistema é uma perspectiva e um conjunto de ferramentas conceituais que nos permitem entender a estrutura e a dinâmica de sistemas complexos. Dinâmica de Sistemas também é uma metodologia de modelagem rigoroso que nos permite criar simulações formais por computador de sistemas complexos e usá-los para projetar políticas e organizações mais eficazes, e se tornou uma valiosa ferramenta de apoio às decisões gerenciais em diversas áreas de negócios”
(STERMAN, 2000)

Segundo Santos (2013): “A compreensão do conceito de “sistemas complexos” deve passar preliminarmente pela análise etimológica da palavra “complexo”. A origem dessa palavra tem como raiz a palavra latina “plexus” (entrelaçamento, conexão, aderência), da qual tem origem a palavra “complexus”. Seu antônimo não é “simplex” (simples), mas “implexus” cujo significado é “irredutível”.”

Conforme (SENGE; STERMAN, 1992) a Dinâmica de Sistemas no mapeamento de sistemas complexos, mostra que ações que são irreversíveis no mundo real se tornam reversíveis, mudanças no ambiente podem ser eliminadas e sistemas complexos podem ser simplificados. Esta reversibilidade e simplificação dos sistemas podem ser verificadas nos diagramas causais e nas interrelações entre eles.

A penetração da DS está inserida em estudos das mais diversas áreas, segundo Meadows (2009) alguns exemplos práticos do uso da DS são:

- Análise do tempo entre o aparecimento de uma nova infecção e o tempo para o diagnóstico,
- Análise do que ocorre entre a emissão de poluentes e os impactos no ecossistema,
- Análise do tempo de crescimento de animais e plantas,
- Variação do tamanho das famílias,
- Análise do desenvolvimento de produtos, desde a ideia até o encerramento da produção.

Em seu estudo Barlas (1996) mostra a importância da validação do modelo, por meio da comparação entre a dinâmica de sistemas e outros modelos, de onde ele conclui que o que dificulta uma maior penetração da DS é a dificuldade encontrada na validação, pois a validação de um modelo de dinâmica de sistema é muito mais complicada do que a de um modelo matemático, tanto filosoficamente como tecnicamente. É filosoficamente difícil porque o problema está diretamente relacionado à questão filosófica não resolvida de verificar a verdade de uma afirmação

(científica). E o problema é tecnicamente difícil porque não existem testes formais estabelecidos (como testes de hipóteses estatísticas) que se pode usar para decidir se a estrutura de um determinado modelo é próxima o suficiente da estrutura "real". Em particular, a despeito dos resultados obtidos, a DS é muitas vezes criticada por seus modelos de validação muito informais, subjetivos e qualitativos. (BARLAS, 1996)

2.2 FUNDAMENTOS DA DINÂMICA DE SISTEMAS

A DS se baseia no estudo dos padrões de comportamento entre as partes e das estruturas determinantes destes padrões, permitindo ao pesquisador testar diferentes políticas e soluções para operação do sistema, avaliando o impacto de decisões. Proporciona, por fim, um conjunto de instrumentos para compreensão e comunicação sobre os modelos da realidade. (FERNANDES, 2001)

Buscando uma melhor compreensão do escopo da DS, MAANI e CAVANA (2000) definem:

a) O QUÊ - um método rigoroso para auxiliar a pensar, visualizar, compartilhar e comunicar a respeito da evolução de sistemas complexos no tempo;

b) PARA QUÊ - com o objetivo de solucionar problemas e desenvolver planos e estratégias mais robustos, que minimizem a probabilidade de resultados inesperados, com consequências indesejadas;

c) COMO - criando modelos e desenvolvendo simulações que externalizem modelos mentais e capturem as inter-relações dos agentes, das forças, dos padrões comportamentais, dos limites organizacionais, das políticas, dos laços de influência e dos *delays*; e, por meio do modelo e conhecimento desenvolvidos, permitindo testar o comportamento e reações do sistema;

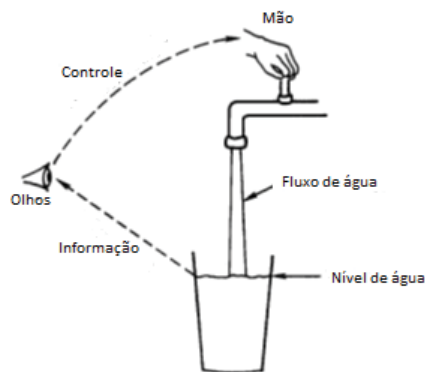
d) QUEM - um arranjo, um combinado, seja uma equipe ou um indivíduo, competente para apresentar e mapear as necessidades e valores (modelos cognitivos) do sistema, de modo franco, aberto, claro e responsável.

De acordo com Forrester (1968), existem duas categorias de sistemas: sistemas abertos e sistemas fechados. Em sistemas abertos, embora haja uma relação direta entre causa e efeito, o efeito não realimenta a causa. Em sistemas fechados, o sistema sofre a influência de seu próprio comportamento passado de forma que as saídas influenciam as entradas, de tal forma que causa e efeito se

confundem (FERNANDES, 2001). Tais sistemas são ditos “dinâmicos” por conta da influência que o evento passado tem sobre o evento futuro.

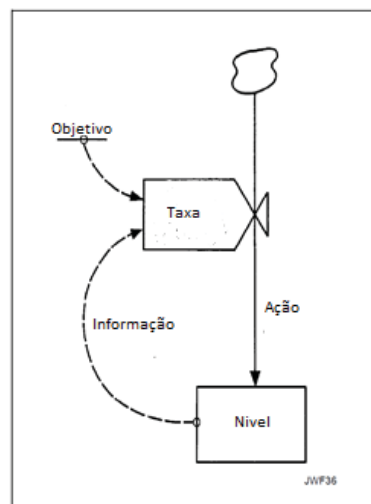
A metodologia da DS é baseada na junção de modelos qualitativos e quantitativos. Os modelos qualitativos mostram a relação entre as variáveis e seus relacionamentos por meio de Diagramas de *looping* causais (DC). A partir dos DC são elaborados diagramas de estoques e fluxos que permitem a análise quantitativa no modelo. O desenvolvimento dos DC é parte do processo de criação do modelo e conecta as variáveis demonstrando se os relacionamentos possuem *loopings* positivos (reforçadores) ou negativos (balanceadores). *Loopings* reforçadores amplificam o que está ocorrendo no sistema, *loopings* balanceadores tem relação inversa (SHEPHERD, 2014). As FIGURAS 1 e 2 exemplificam este processo.

FIGURA 1 – EXEMPLO PRÁTICO DE *LOOPING* CAUSAL



FONTE: Forrester (1996)

FIGURA 2 – MODELO DE *LOOPING* CAUSAL



FONTE: Forrester (1996)

Quando se fala em modelagem em DS Maani e Cavana (2000) diferenciam as modelagens *soft* e *hard*. A ideia associada à modelagem *soft* refere-se a abordagens conceituais e contextuais que buscam maior realismo, pluralismo e uma intervenção mais holística que a modelagem *hard*. A ideia associada a modelagem *hard* refere-se aos relacionamentos desenvolvidos na modelagem *soft* conjuntamente com os aspectos quantitativos do modelo. Os conceitos de modelos *soft* e *hard* são também comumente relacionados às ideias de qualitativo e quantitativo, respectivamente. A Dinâmica de Sistemas lida com as duas abordagens, sendo que a proposta da Aprendizagem Organizacional, como definida por Senge tende a recorrer à abordagem *soft*. Já, as simulações próximas à linha de estudo de Forrester têm maior afinidade com o conceito *hard* de modelagem

A dinâmica de sistemas foca basicamente na estrutura e no comportamento de sistemas compostos por *loopings* de realimentação (GOODMAN, 1989). Os diagramas de *looping* causais são uma maneira conveniente de se representar uma estrutura antes do equacionamento do sistema.

A principal vantagem do uso de DC é que eles não necessitam de conhecimento prévio de diagramas de fluxo, inclusive podem ser estudados por estudantes de ensino fundamental, como mostra o estudo elaborado por Forrester, que mostra este uso em escolas dos Estados Unidos, Escandinávia e Alemanha (FORRESTER, 1996).

Considerando-se esta peculiaridade dos diagramas de *looping* causais, esta metodologia encoraja os pesquisadores a conceitualizarem sistemas reais em função de *looping* realimentados. Vemos que Forrester encorajava os estudantes a elaborarem diagramas simples de disciplinas das mais diversas áreas, como matemática, física, estudos sociais, história, economia, biologia e literatura. Um exemplo deste uso pode ser verificado em Hopkins (1992), que mostra o estudo da obra Hamlet de Sheakespeare, onde alunos da escola Desert View High School, desenvolveram o DC da obra, como apresentado no ANEXO 1.

Uma variável é uma condição, situação, ação ou decisão que pode influenciar e ser influenciada por outras variáveis. Estas variáveis podem ser quantitativas (mensuráveis) ou qualitativas (*soft*) e o relacionamento entre estas diferentes variáveis é o que torna o DC uma ferramenta poderosa para a dinâmica de sistemas. (MAANI; CAVANA, 2000).

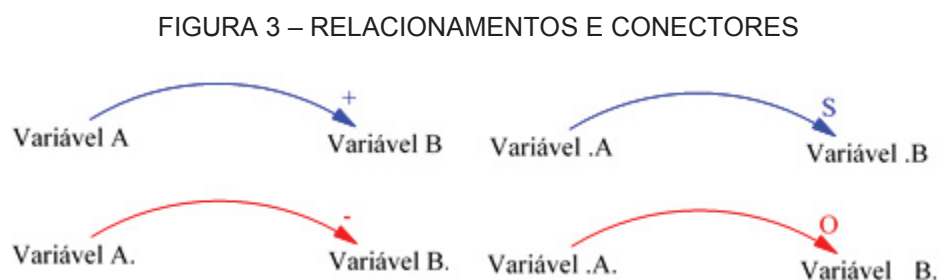
As variáveis são conectadas por meio de setas que indicam a associação entre duas variáveis ou a mudança de estado entre elas (MAANI; CAVANA, 2000).

Os sinais próximos às pontas das setas indicam a polaridade. A relação existente poderá ser positiva, quando as variáveis caminham na mesma direção ou negativa, quando uma variável impacta inversamente na outra (GOODMAN, 1989).

Na FIGURA 3 o sinal “+” ou a letra “S” (do inglês *same*), na extremidade significa que a “Variável A” atua sobre a “Variável B” no mesmo sentido, ou seja, se o valor da “Variável A” aumentar, o valor da “Variável B” também aumentará. De forma inversa, o sinal “-” ou a letra “O” (do inglês *opposite*) na extremidade significa que a “Variável A” atua sobre a “Variável B” em sentido inverso, ou seja, se o valor da “Variável A” aumentar, o valor da “Variável B” diminuirá.

Os Conectores servem para estabelecer uma relação entre dois componentes na construção do diagrama.

Na FIGURA 3 as ligações (“flechas”) entre as variáveis “Variável A” e “Variável B” representam os conectores.



FONTE: O autor (2019)

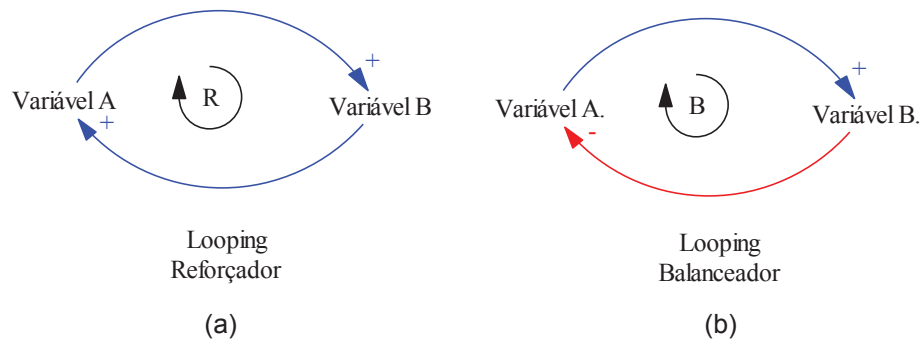
Os enlaces são os relacionamentos entre duas ou mais variáveis que são ligadas pelos conectores. Existem dois tipos de enlaces, os reforçadores (R) ou positivos e os balanceadores (B) ou negativos (MAANI; CAVANA, 2000).

Os *loopings* reforçadores representam uma ação de crescimento ou declínio, possuem um crescimento que ocorrerá indefinidamente. Os *loopings* balanceadores representam um equilíbrio.

Na FIGURA 4a o sinal “+” na extremidade significa que a “Variável A” atua sobre a “Variável B” no mesmo sentido e a “Variável B” atua sobre a “Variável A” também mesmo sentido, ou seja, se o valor da “Variável A” aumentar, o valor da “Variável B” também aumentará, o que exemplifica um enlace reforçador, pois

demonstra um crescimento constante. De forma inversa na FIGURA 4b, O sinal “-” na extremidade significa que a “Variável B” atua sobre a “Variável A” em sentido inverso, ou seja, se o valor da “Variável A” aumentar, o valor da “Variável B” aumentará, e se a “Variável B” aumentar, o valor da “Variável A” diminuirá, o que exemplifica um enlace balanceador, pois tem-se uma situação de equilíbrio.

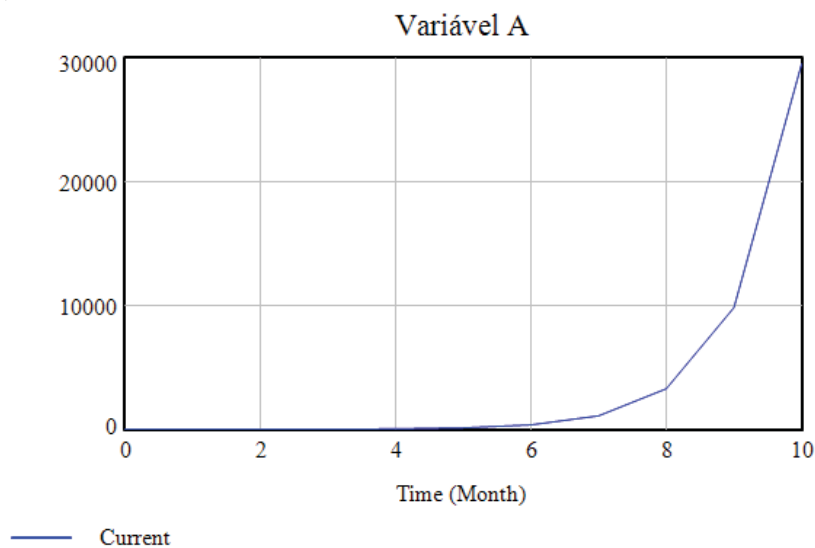
FIGURA 4 – ENLACES



FONTE: O autor (2019)

A FIGURA 5 apresenta o resultado de um enlace reforçador onde a “Variável A” e a Variável B” influem diretamente uma sobre a outra em crescimento (valor inicial de A =1, valor inicial de B =0 e relacionamentos A+B e B+A), a cada novo período o valor de A é somado ao de B e o de B ao de A..

FIGURA 5 – ENLACE REFORÇADOR



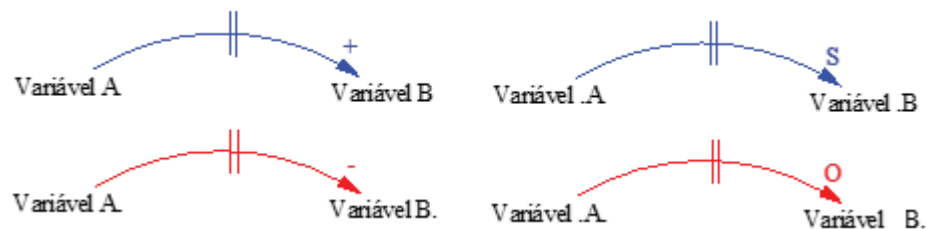
FONTE: O autor (2019)

Os atrasos (*delays*) são inerentes à maioria dos sistemas, em sistemas dinâmicos os atrasos significam um lapso de tempo ente a causa e seus efeitos (MAANI; CAVANA, 2000). Esse atraso ocorre quando os efeitos de uma variação em um dos elementos do sistema não ocorrem de forma imediata.

Os atrasos são representados por duas barras paralelas posicionadas ao longo do relacionamento no qual ocorre o atraso.

Na FIGURA 6 as duas barras paralelas entre as variáveis “Variável A” e “Variável B” indicam que ocorrerá um atraso entre a execução da “Variável A” e a execução da “Variável B”.

FIGURA 6 – ATRASOS



FONTE: O autor (2019)

Na origem do desenvolvimento da Dinâmica de Sistemas a elaboração de modelos foi baseada nos dois simples conceitos de Estoques e Fluxos. Mesmo Forrester sendo originário da área de sistemas, a grande dificuldade era escrever programas computacionais onde estivessem presentes um grande número de equações. Isto gerou a necessidade da elaboração de equações simplificadas para serem utilizadas na modelagem, a fim de possibilitar a visualização daquilo que estava sendo modelado.

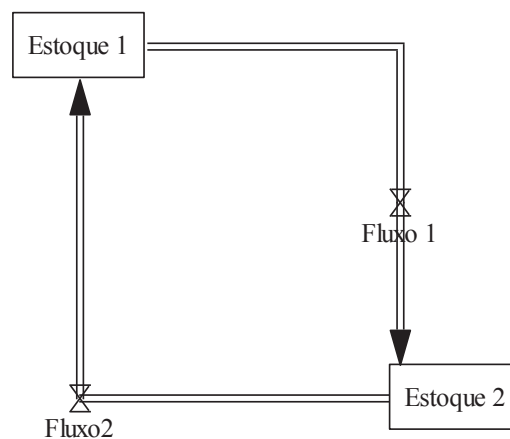
Para Forrester (1998), a compreensão dos conceitos de estoques e fluxos é essencial para a construção dos diagramas de fluxos. De acordo com o autor, ao passo que os estoques e os fluxos são os elementos que formam os laços de realimentação (“feedbacks”), por sua vez os laços de realimentação são os elementos que formam os sistemas.

Para a análise de valores acumulados, são utilizados diagramas de estoques e fluxos. Os estoques representam a acumulação dos resultados das ações do sistema, ou seja, são os valores atuais das variáveis, resultantes da diferença acumulada entre os fluxos de entrada e de saída.

Fluxos representam as taxas de mudanças no estado de uma variável do tipo estoque ao longo do tempo. Por este motivo, fluxos sempre estão ligados a estoques que representam aquela variável. Os fluxos podem se relacionar com os estoques como fluxos de entrada ou de saída, fazendo com que os valores dos estoques cresçam ou diminuam.

A FIGURA 7 mostra os estoques e fluxos representados em um *looping*.

FIGURA 7 – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO



FONTE: O autor (2019)

A partir do detalhamento do modelo da DS, é necessário analisar a utilização do transporte público e como eles se aplicam na DS.

2.3 UTILIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO

Segundo Carvalho e Pereira (2011) a decisão de pegar um ônibus é influenciada não só pelo valor da tarifa cobrada, mas também pela classe social da pessoa, pelas características da viagem – período do dia, distância etc. –, pela qualidade do serviço, pelo custo de serviços semelhantes substitutos (outros modos de transporte) e pelas condições de tráfego e condições meteorológicas.

A pesquisa realizada por Beirão e Cabral (2007) entre usuários de transporte público e usuários de veículos particulares na cidade do Porto em Portugal, demonstrou que as principais características que impactam na decisão do cidadão em utilizar ou não o transporte público são o tempo de viagem, o custo, o

fato de não ter que dirigir e a sociabilização, o conforto e a falta de informação sobre rotas do transporte coletivo

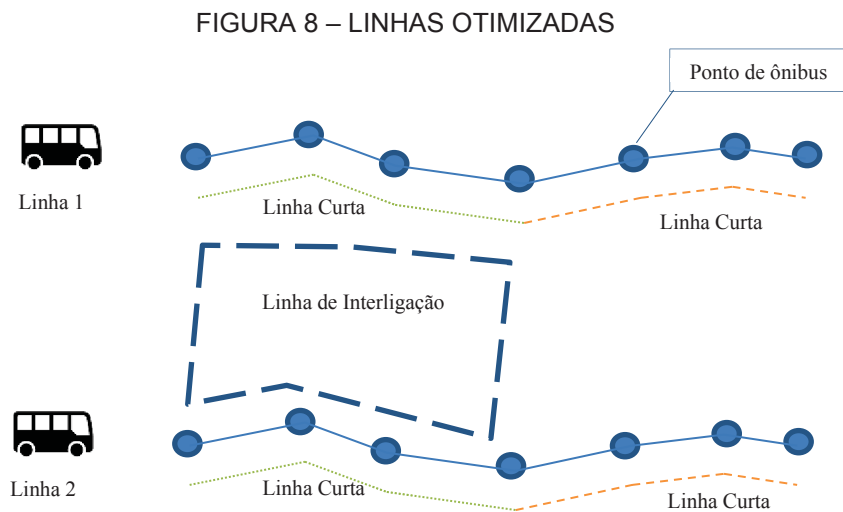
Em seu estudo Silva *et al.* (2015) fazem um estudo sobre a mobilidade em seis municípios brasileiros (Belém, Curitiba, Goiânia, Juazeiro do Norte, Uberlândia e Itajubá), com uma análise utilizando o método AHP, os autores trabalham com indicadores que podem levar a uma mobilidade sustentável, mostrando quais os fatores impactam na decisão do modelo de transporte se utilizar.

Conforme Litman (2007), os custos de uma viagem não são apenas o preço da passagem de ônibus ou do combustível que a pessoa utiliza no seu veículo. O tempo de viagem também vale muito, pois ele é uma parte importante e oculta do salário trabalhador. A duração do deslocamento depende do tempo de espera e de embarque no transporte público e da velocidade média do tráfego. Este inter-relacionamento entre, tarifas, tempos de espera e tráfego, impactam na decisão de uso do transporte público.

2.3.1 Planejamento da demanda de passageiros

A quantidade de passageiros transportados e disponibilidade de linhas do transporte público impactam diretamente nos custos de operação do sistema. O estudo de Gkiotsalitis *et al* (2019) mostra que um fator de grande impacto no cálculo desta demanda é a desigualdade da quantidade de passageiros utilizando os ônibus em determinados períodos do dia e a dificuldade em se planejar a melhor maneira de se minimizar os custos envolvidos.

Em seu estudo Gkiotsalitis *et al.* (2019) apresentam um modelo para se otimizar as linhas. Inicialmente eles programaram as linhas existentes, para otimizar o modelo foi definido que ao invés dos ônibus percorrerem os itinerários originais, eles percorreriam itinerários mais curtos, denominados linhas curtas e linhas de interligação, a FIGURA 8 mostra o planejamento das linhas. Com as informações de demanda, utilizaram algoritmo genético para definir os pontos que seriam atendidos por cada uma das novas linhas.



Já o estudo de Duleba e Moslem (2019) apresenta a utilização do ótimo de Pareto por meio de AHP em um estudo na cidade de Mersin na Turquia. No AHP foram definidos como critérios primários a qualidade do transporte, a qualidade do serviço e a confiabilidade das informações. Com isso sugere que as melhoras necessárias para o sistema seriam redesenhar o fluxo de tráfego e a programação de ônibus públicos, melhorar a atitude dos motoristas de ônibus, a fim de aumentar a confiabilidade e a segurança do transporte. Também é recomendado dar maior atenção ao aumento da interoperabilidade com outros modos de transporte,

Em seu estudo, Vasconcelos (2018) analisa as condições de mobilidade no Brasil, mostrando os diversos modais e suas características. Quanto ao modal de transporte público por ônibus, ele mostra que vários municípios optaram por corredores exclusivos para os ônibus, o que aumenta a qualidade do serviço. Apesar desta melhora nas grandes rotas, por meio dos corredores exclusivos, as rotas periféricas, que atendem os habitantes das áreas mais pobres, possuem serviços que são percebidos pela população como pouco confiável e desconfortável, devido a distância para os moradores chegarem aos pontos de ônibus e a longa espera pelos ônibus.

Ingvardson e Nielsen (2018), apresentam uma comparação entre a quantidade de embarques anuais per capita em 48 cidades europeias, por meio desta pesquisa pode-se verificar que as cidades que possuem multimodais, incluído o ferroviário, possuem uma quantidade de embarques anuais per capita superior a 400

, nas cidades que são atendidas por transporte trens leves e ônibus inferior a 200 embarques anuais per capita. Enquanto isso nas cidades atendidas somente por ônibus a quantidade é de menos de 100 embarques anuais per capita. O que demonstra que cidades que possuem sistemas de transporte multimodais tendem a ter uma maior utilização pela população.

Outro estudo apresentado por Smieszek (2019), para a cidade de Rzeszow na Polônia, demonstra que por meio de uma cadeia de mobilidade, pode-se aumentar a procura pelo transporte público, vinculando-se o transporte público coletivo com o transporte individual (bicicletas, pedestres, automóveis).

2.3.2 Custos do transporte público

Além dos custos intrínsecos do transporte público, como pessoal e manutenção da frota, em seu estudo, realizado em Istambul na Turquia, Canitz *et al.* (2019), mostram que os custos da administração governamental do sistema de transporte são frequentemente ignorados, e devido a conflito de interesses entre as agências reguladoras e os operadores privados, podem ocorrer custos adicionais e redução da qualidade do serviço.

Asplund e Pyddoke (2019) mostram, por meio de um estudo no Pequeno município de Upsala na Suécia, que existe nas periferias dos municípios uma oferta superior a demanda. Utilizando uma capacidade média de 38 assentos nos ônibus, obtiveram uma ocupação média de 8,5 passageiros por veículos, demonstrando que a otimização da frequência nestas áreas pode resultar em economias substanciais e, conseqüentemente, redução de tarifa.

Já Vigren e Pyddoke (2020) fazem uma análise dos impactos dos subsídios aplicados ao transporte público de Skane na Suécia, mostrando que os subsídios não são um fator determinante na utilização do transporte público, pois na maioria das vezes os subsídios totais nas tarifas são pequenos e impactam na baixa liberdade dos operadores em definir suas rotas e horários, o que acaba não impactando na percepção do usuário.

2.3.3 A aplicação da DS nos transportes públicos

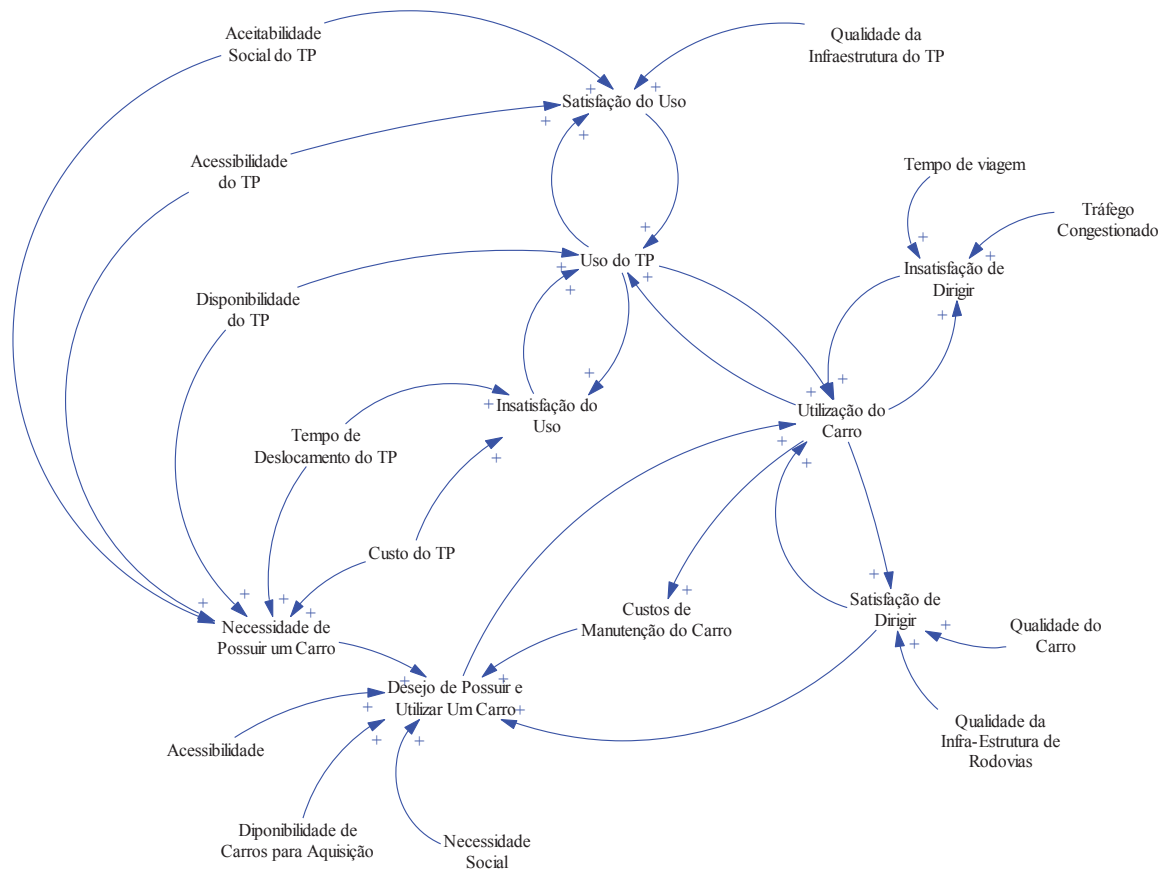
Na literatura foram encontrados vários exemplos de aplicações da DS, tais como aprendizagem em sala de aula (KENNEDY, 2011), disputas legais (STEPHENS *et al.*, 2005), gerenciamento de projetos (LYNEIS; FORD, 2007), saúde pública (DANGERFIELD, 1999), cadeia de suprimentos (ANGERHOFER; ANGELIDES, 2000). Para o problema de transporte público, são poucos os trabalhos existentes (LIU *et al.*, 2010).

Para o problema de transportes, no melhor de nosso conhecimento, verificou-se que eles tratam de maneira genérica o problema, contribuindo para a melhor compreensão das relações entre os elementos do sistema de transporte e entre o transporte e seu ambiente, mostrando as vantagens da utilização da DS para transportes (ABBAS; BELL, 1994). Esta análise foi reforçada pela revisão realizada por Shepherd (2014), onde pode-se observar as principais relações entre sistemas de transporte e a sociedade que deles dependem.

Para o sistema de transporte por taxis em Pequim, Wang *et al.* (2018) analisaram os seguintes fatores: distância média diária percorrida, frequência diária média, taxa de táxi vazios, tarifa do táxi, demanda total de táxi, número de taxis, tempo médio de espera, tempo médio de viagem, políticas reguladoras de tarifas de táxi, limite da quantidade de táxi, informatização do mercado de táxi. Onde puderam elaborar um DC demonstrando os relacionamentos entre estes fatores.

Já o trabalho de Bajracharya (2013) mostra por meio da DS os motivos que levam ao uso do automóvel em detrimento do uso de Transporte Público (TP), demonstrando os relacionamentos, sem demonstrar os impactos reais. Os motivos analisados no modelo foram: qualidade da Infraestrutura do TP, aceitabilidade social do TP, acessibilidade do TP, disponibilidade do TP, tempo de deslocamento do TP, custo do TP, acessibilidade, disponibilidade de carros para aquisição, necessidade social, custos de manutenção do carro, satisfação de dirigir, qualidade da infraestrutura de rodovias, qualidade do carro, tempo de viagem, tráfego congestionado. A FIGURA 9 mostra o modelo desenvolvido.

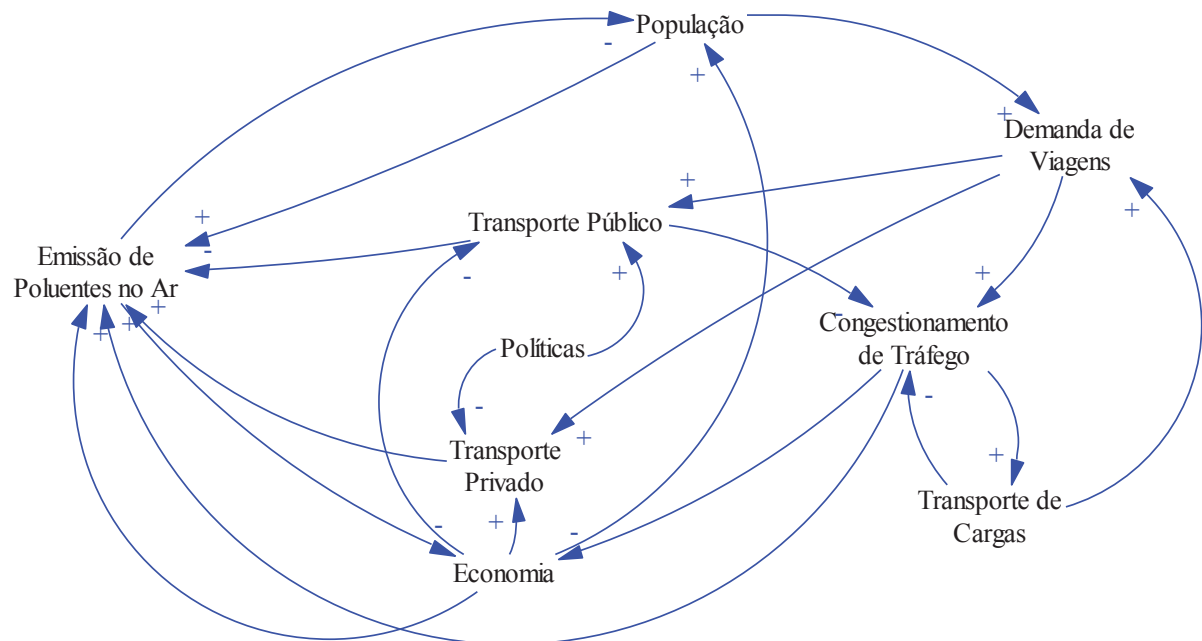
FIGURA 9 – DC O USO DE AUTOMÓVEIS E TRANSPORTE PÚBLICO



FONTE: Bajracharya (2013)

Em seu trabalho Fontoura *et al.* (2018) apresenta uma visão do sistema de transporte em São Paulo com o objetivo de analisar a poluição causada. O modelo desenvolvido mostra fatores que impactam na migração dos passageiros do transporte motorizado individual para o transporte público, sem levar em consideração os transportes individuais não motorizados. O trabalho também se propõe a demonstrar o modelo brasileiro de mobilidade conforme mostra a FIGURA 10.

FIGURA 10 – DC PARA O MODELO DE TRANSPORTE BRASILEIRO



FONTE: Fontoura (2018)

Para que estes modelos sejam aplicados é necessário o uso de ferramentas computacionais que permitam a modelagem e a simulação dos DC.

2.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL EM DINÂMICA DE SISTEMAS

Nos anos cinquenta Jay W. Forrester começou a aplicar princípios de *feedback* e controle para os sistemas sociais. Nos anos que se seguiram, muita coisa se aprendeu sobre modelagem de sistemas sociais (EBERLEIN *et al.*, 1992).

Duas lições principais são:

- É importante ter uma perspectiva de sistemas.
- A simulação é muitas vezes cheia de surpresas.

A necessidade na obtenção de resultados ágeis levou ao desenvolvimento de softwares de simulação baseados no desenvolvimento de modelos e na posterior análise dos resultados. (EBERLEIN *et al.*, 1992).

Segundo Eberlein *et al.* (1992) simulações geralmente resultam em surpresas porque o comportamento dos sistemas, e especialmente sistemas sociais, é contraintuitivo. Com a mesma frequência, surpresas são os resultados de erros e omissões nos modelos de simulação, conhecidas como falhas.

Ainda segundo Eberlein *et al.* (1992) os principais gargalos para a compreensão do que está acontecendo dentro de modelos de simulação são a velocidade de obtenção do resultado e a conveniência da forma como eles são apresentados. Reconhecendo isso, os softwares de simulação para a Dinâmica de Sistemas são feitos de forma orientada visualmente.

Segundo Sastry e Sterman (1993) as características dos principais softwares utilizados em DS são:

- DÍNAMO[®]: Foi a primeira linguagem amplamente usada e desenvolvida para simular modelos. O DYNAMO[®] ainda está em uso, disponível para mainframes e PCs.
- DYSMAP[®]: Possui sintaxe semelhante à do DYNAMO[®]. Inclui capacidade de otimização baseada em subidas.
- STELLA[®] e ithink[®]: Software de modelagem fácil de usar com interface gráfica completa, os modelos são inseridos graficamente, no nível do estoque e do diagrama de fluxo. É amplamente utilizado na educação em todos os níveis, desde ensino fundamental.
- Vensim[®]: Ambiente de simulação poderoso, inclui capacidade de matriz e uma ampla variedade de recursos para analisar o comportamento do modelo.
- Microworld Creator[®]: ambiente fácil de usar para simulação e jogos. A versão S4 suporta matrizes e inclui diagnósticos para analisar o comportamento.

Para o modelo desenvolvido foi utilizado o software Vensim PLE[®] (Personal Learning Edition) por ele ser um ambiente de simulação que atendia as características do modelo, além de ser gratuito para uso acadêmico.

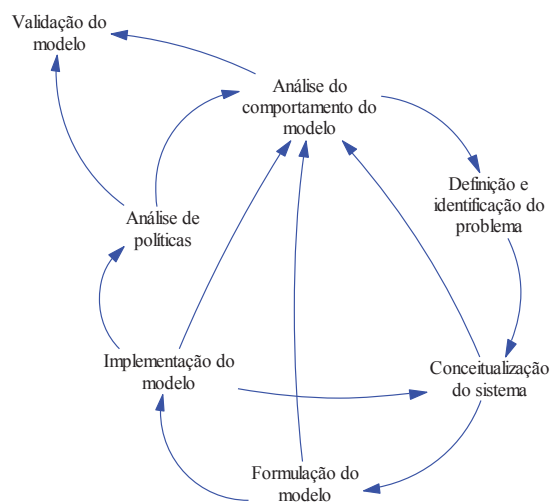
As características que eram necessárias para a escolha do software foram:

- Retroalimentação;
- Geração de gráficos;
- Variáveis de entrada dependentes de variáveis de saída.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento de modelos em dinâmica de sistemas pode ser definido em sete etapas, conforme sugerem Richardson e Pugh III (1981), as interações entre as etapas do processo de desenvolvimento do modelo podem ser verificadas na FIGURA 11 e descritas no QUADRO 1.

FIGURA 11 – ETAPAS DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS



FONTE: Richardson e Pugh III (1981)

Neste trabalho será apresentado um modelo de DS a ser aplicado em um sistema de transporte coletivo municipal, abordando a quantidade de passageiros transportados (PAX), analisando as variáveis envolvidas e suas correlações.

Para este desenvolvimento o QUADRO 1 mostra as etapas apresentadas por Richardson e Pugh III (1981) e como elas foram contempladas neste estudo.

QUADRO 1 – ETAPAS DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Definição (RICHARDSON; PUGH III, 1981)	Definição (RICHARDSON; PUGH III, 1981)	Estudo
1. Definição e identificação do problema	Definir os objetivos do processo de modelagem significa estabelecer um foco objetivo o qual determina a forma, os limites e o que deve ser incluído e excluído do modelo	O problema foi definido como sendo a análise da quantidade de passageiros do transporte urbano do município de Curitiba, considerando o período entre 2013 e 2019.
2. Conceitualização do sistema	Uma vez definido o objeto da modelagem, são então definidos os fatores que podem alterar o comportamento do sistema e os enlaces entre eles. Para tal, são utilizados os Diagramas de Fluxos Causais	Foram analisadas as relações entre as variáveis e a construção de subsistemas para a análise das variáveis específicas. Após, foram criados os DC para cada um dos subsistemas.
3. Formulação do modelo	Com base na compreensão do objeto de estudo obtida a partir do modelo conceitual desenvolvido na etapa anterior, tem início a tradução da estrutura do modelo por meio de equações matemáticas que transformem a mera visão conceitual em uma representação quantitativa do sistema em estudo. Para tal, devem ser compreendidas as relações entre fluxos e estoques e definidos os estados iniciais e seus valores numéricos, permitindo a observação de como o comportamento do sistema pode ser alterado por cada variável ao longo do tempo	Com base na análise dos dados disponíveis para cada variável, foram definidos novos subsistemas e formulados os relacionamentos entre as variáveis.
4. Análise do comportamento do modelo	Após a construção do modelo, é necessário analisar individualmente os enlaces e os comportamentos como cada um deles impactará no sistema, realizando simulações individualizadas e combinadas parcialmente de cada uma das etapas do modelo	Para cada um dos subsistemas foi feita a análise do comportamento das variáveis, validando cada caso
5. Validação do modelo	Na prática, a validação consiste em um conjunto de ações úteis na análise se o modelo representa de fato o sistema em estudo, um modelo em dinâmica de sistemas busca resolver um problema e não um sistema, trazendo resposta a questões bem definidas, para isso a confiabilidade do modelo deve contemplar a análise destas variáveis	Foi validado o modelo comparando os dados reais e com os dados obtidos pelo modelo.
6. Análise de políticas	Uma vez que a confiança no modelo foi estabelecida, ele está pronto para ser utilizado no desenho de políticas de melhoria do sistema em estudo. O modelo validado permite a exploração dos efeitos da aplicação de diversas políticas de mudanças no sistema real com vistas não apenas à melhoria do sistema como também à própria compreensão de sua estrutura de "feedbacks". Tais políticas consistem em alterações nas variáveis modeladas	O modelo permite que sejam analisadas variações e alterações nas métricas para análises de cenários.
7. Implementação do modelo	Utilizando-se softwares de simulação deve-se implementar o modelo desenvolvido e validado	Utilizou-se o software de simulação Vensim® para realizar a implementação e simulação do modelo

FONTE: O Autor (2019)

Baseado nestas etapas foram realizadas duas fases na validação do modelo, inicialmente foi criado um modelo de DS contemplando todas as variáveis identificadas no sistema, posteriormente foi criado um segundo modelo com as variáveis que podem ser calculadas com o decorrer do tempo.

3.1 DETALHAMENTO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO

O transporte público de passageiros é influenciado por diversos fatores externos que afetam diretamente na decisão do passageiro de utilizar ou não o transporte coletivo.

Para melhor visualização e explicação do DC proposto, ele será seccionado, sendo apresentados em subsistemas, que serão posteriormente mostrados no DC completo. Posteriormente será realizada a análise do total de passageiros.

Primeiramente serão apresentadas as variáveis inicialmente propostas para o modelo e posteriormente os principais DC seccionados.

3.1.1 Variáveis

Para a formulação do modelo de DS foram consideradas variáveis analisadas em estudos anteriores e em análises empíricas subdivididas em quatro classes: Quantitativas do Sistema de Transporte, Financeiras do Sistema de Transporte, Socioeconômicas e de Mobilidade.

Para a definição das variáveis do DC do modelo não foram consideradas a disponibilidade de dados, sendo que esta etapa ficou para a validação do modelo, quando será apresentado o modelo de validação com as variáveis que possuem dados disponíveis.

Os QUADROS 2, 3, 4 e 5, mostram estas variáveis

QUADRO 2 – VARIÁVEIS QUANTITATIVAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE

Variável	Definição
Número de passageiros pagantes	Total de passageiros que pagam passagem
Número de passageiros isentos	Total de passageiros que utilizam o transporte, mas possuem alguma isenção de pagamento conforme a legislação
Número de passageiros transportados	Total de passageiros que utilizam o transporte coletivo $n^{\circ} \text{ pax transportados} = n^{\circ} \text{ pax isentos} + n^{\circ} \text{ pax pagantes}$

FONTE: O Autor (2019)

QUADRO 3 – VARIÁVEIS FINANCEIRAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE

Variável	Definição
Valor total arrecadado	Valor total arrecadado em função do tipo de tarifa paga (inteira, com desconto, linhas especiais) e da quantidade de passageiros pagantes por tipo de tarifa. $valor\ total\ arrecadado = \sum (valor\ da\ tarifa * n^{\circ}\ pax\ pagantes)_{tipo\ de\ tarifa}$
Número de passageiros equivalentes	A quantidade relativa de passageiros entre o valor total arrecadado e o valor da tarifa inteira. $n^{\circ}\ pax\ equivalentes = valor\ total\ arrecadado / valor\ da\ tarifa$
Custo da mão de obra de cobradores	Custo associado a contratação de cobradores.
Custo Diesel	Valor gasto com óleo diesel.
Custo Diesel S10	Valor gasto com Diesel S10.
Custo de manutenção da frota	Valor gasto com a manutenção da frota.
Valor da tarifa	Valor calculado com base no contrato e que inclui diversos índices. Para este modelo, utilizamos o custo do diesel, custo do diesel S10, custo de manutenção da frota, número de passageiros isentos, número de passageiros total, e número de passageiros equivalentes

FONTE: O Autor (2019)

QUADRO 4 – VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS

Variável	Definição
Quantidade de demissões	Quantidade de demissões em Curitiba no período.
Quantidade de admissões	Quantidade funcionários admitidos no período em Curitiba.
Nível de atividade econômica	Para esta variável foi considerada somente o nível de emprego, para simplificação do modelo $nível\ de\ atividade\ economica = nível\ de\ emprego = admissões - demissões$
Quantidade de automóveis	Quantidade de automóveis emplacados em Curitiba.
Quantidade de motocicletas	Quantidade de motocicletas emplacadas em Curitiba
Quantidade total de automóveis e motocicletas	Total de automóveis e motocicletas. $quantidade\ total\ de\ automóveis\ e\ motocicletas = automoveis + motocicletas$
Tamanho da população	População total da cidade de Curitiba e de sua área de influência.
Matrículas na rede estadual	Total de alunos matriculado na rede estadual de ensino.
Matrículas na rede municipal	Total de alunos matriculado na rede municipal de ensino.
Matrículas na rede federal	Total de alunos matriculado na rede federal de ensino.
Matrículas na rede privada	Total de alunos matriculado na rede privada de ensino.
Total de Estudantes	Total de estudantes matriculados nas escolas de Curitiba $total\ de\ estudantes = estadual + municipal + federal + privada$

FONTE: O Autor (2019)

QUADRO 5 – VARIÁVEIS DE MOBILIDADE

Variável	Definição
Disponibilidade de veículos – taxi	Quantidade de taxis autorizados a transitar em Curitiba.
Tempo de trajeto – taxi	Tempo para percorrer o trajeto.
Tempo de espera – taxi	Tempo que o passageiro deve aguardar até embarcar no taxi.
Quantidade de Taxi	Quantidade de taxi disponíveis para os passageiros, somente são considerados os taxis que não estiverem parados nem com passageiros.
Valor da Tarifa taxi	Valor da “bandeira”, calculado em função da distância, do tempo de trajeto e do horário.
Quantidade de passageiros transportados por aplicativos	Quantidade de passageiros transportados por aplicativos de compartilhamento de veículos, tais como Uber® e 99®.
Valor da tarifa cobrada por aplicativos	Valor da tarifa cobrada por aplicativos de compartilhamento de veículos: calculado em função da distância e tempo de percurso.
Veículos de aluguel	Soma do total de passageiros transportados por taxis e aplicativos.
Tempo de espera	Período que o passageiro aguarda até a chegada do ônibus.
Velocidade média dos ônibus	Velocidade que o ônibus consegue manter para chegar antes ao destino, a velocidade é impactada pelo uso de vias e canaletas exclusivas.
Tempo de trajeto	Relação entre o tempo de espera e a velocidade média, é a real percepção de tempo do passageiro.

FONTE: O Autor (2019)

3.1.2 Subsistemas

Para melhor análise do DC desenvolvido, optou-se por seccionar o DC em subsistemas. Cada subsistema está centralizado em uma variável que tem interação com o número de passageiros transportados do DC completo e que deu o nome para o subsistema.

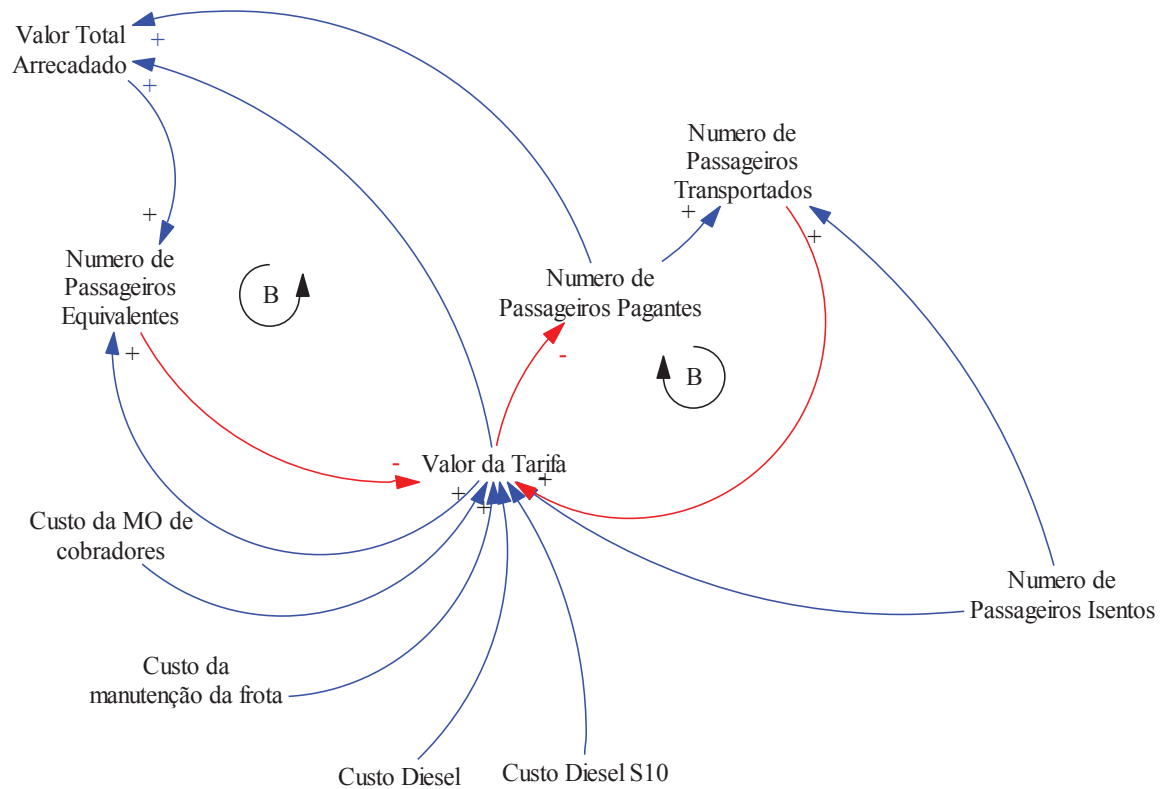
Dividiu-se o modelo nos seguintes subsistemas.

- Valor da Tarifa;
- Veículos Próprios;
- Passageiros transportados por taxis;
- Transporte por aplicativos;
- Tempo de trajeto;
- Tamanho da população;
- Total de estudantes.

3.1.2.1 Valor da Tarifa

No DC desenvolvido e analisando-se os valores históricos das variáveis propostas, verificou-se que a quantidade de passageiros é inversamente proporcional ao valor da tarifa e que demonstra ser uma relação de balanceamento. O valor da tarifa depende de 4 fatores principais: 1) Custo de manutenção da frota, neste ponto são considerados todos os custos associados a manutenção e deslocamento da frota; 2) Custo da mão de obra de cobradores, este valor é colocado separadamente, pois nem todos os veículos possuem cobrador; 3) Quantidade de passageiros isentos; 4) Quantidade de passageiros equivalentes, que é um cálculo baseado na arrecadação total em função do valor da passagem. A FIGURA 12 demonstra estes relacionamentos.

FIGURA 12 – DC PARA O VALOR DA TARIFA

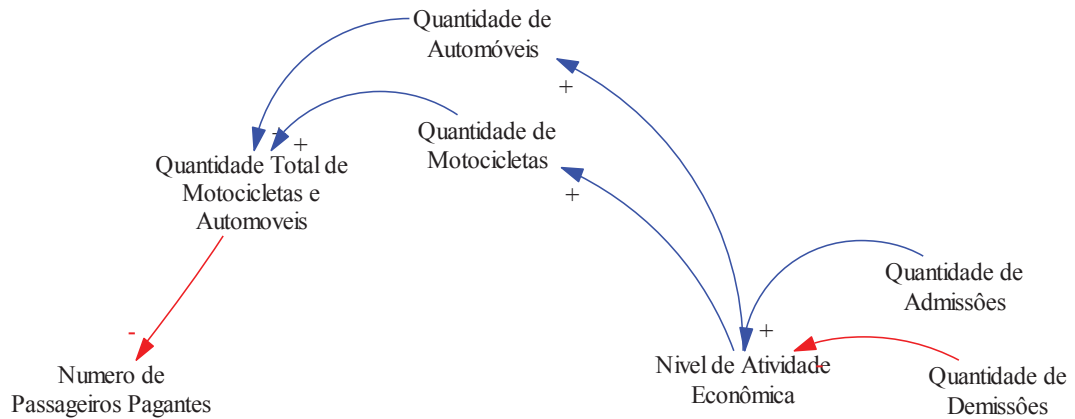


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.2 Veículos próprios

A segunda análise é em relação a quantidade total de veículos próprios dos habitantes, analisando-se as variáveis propostas pode-se verificar a relação entre a quantidade de veículos e a quantidade de passageiros pagantes, observando-se que elas têm influência inversamente proporcional entre si. Neste ponto verifica-se que a quantidade de automóveis e motocicletas utilizadas depende no nível de atividade econômica da população. Para o nível de atividade econômica utilizou-se a diferença entre admissões e demissões. A FIGURA 13 demonstra estes relacionamentos.

FIGURA 13 – DC PARA A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARTICULARES

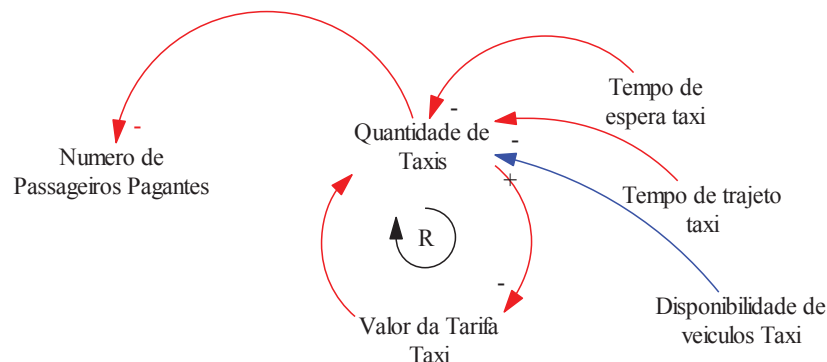


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.3 Passageiros transportados por taxis

A terceira análise é em relação a quantidade de passageiros transportada por taxi. Temos, segundo Wang *et al.* (2018) os principais fatores que impactam na demanda, são: 1) O valor da tarifa, definido pelo órgão regulador municipal; 2) A quantidade de veículos disponíveis, a quantidade total é definida por legislações municipais, mas neste trabalho sugere-se que se utilize a quantidade que efetivamente estão trabalhando; 3) O tempo de espera, neste critério não considera-se somente o tempo, mas a percepção de tempo pelos usuários; 4) O tempo de deslocamento, o tempo entre a origem e destino, este tempo é variável em função do trânsito e da quantidade de veículos total transitando. A FIGURA 14 mostra o DC para esta situação.

FIGURA 14 – DC PARA A PAX TRANSPORTADOS POR TAXI

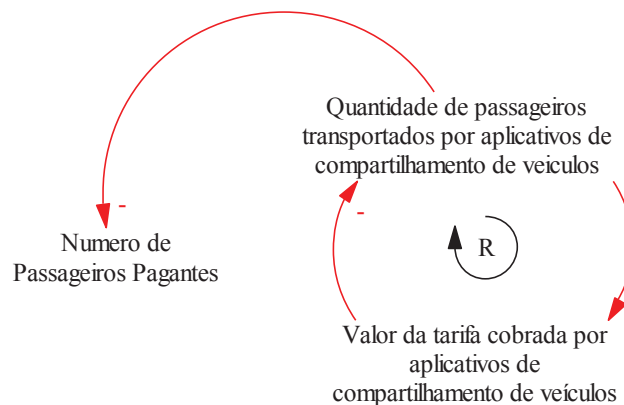


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.4 Transporte por aplicativos

A quarta análise é com relação aos novos serviços de transporte de passageiros por aplicativos. Para esta análise, devido a ser um novo serviço, considerou-se apenas uma variável de influência, o valor da tarifa. A FIGURA 15 mostra o DC para esta situação.

FIGURA 15 – DC PARA O TRANSPORTE POR APLICATIVOS

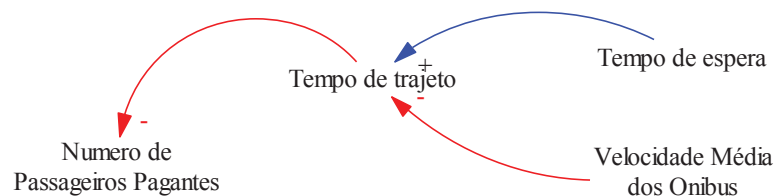


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.5 Tempo de trajeto

A quinta análise é em relação ao tempo de trajeto dos passageiros quando utilizando o ônibus: 1) O tempo de espera, neste critério não considera-se somente o tempo, mas a percepção de tempo pelos usuários; 2) Velocidade média dos ônibus, a velocidade dependente do trânsito; 3) Tempo de trajeto: relação entre o tempo de espera do passageiro e a velocidade média dos ônibus. A FIGURA 16 mostra o DC para esta situação.

FIGURA 16 – DC PARA TEMPO DE TRAJETO

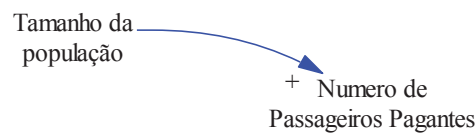


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.6 Tamanho da população

A sexta análise é em relação tamanho da população do município de Curitiba e da sua área de influência direta, não necessariamente toda a região metropolitana, somente a área atingida pela Rede Integrada de Transporte Metropolitano – RIT. A FIGURA 17 mostra o DC para esta situação.

FIGURA 17 – DC PARA TAMANHO DA POPULAÇÃO

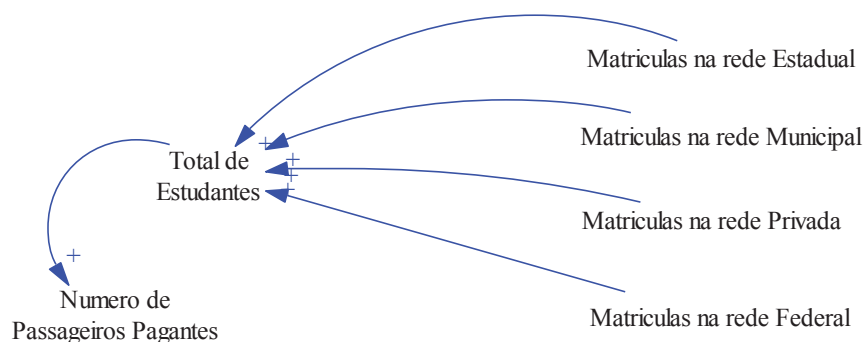


FONTE: O autor (2019)

3.1.2.7 Total de estudantes

A sétima análise é em relação ao total de estudantes matriculados nas escolas de Curitiba: 1) Total de estudantes; 2) matrículas na rede estadual; 3) matrículas na rede municipal; 4) matrículas na rede privada; 5) matrículas na rede federal. A FIGURA 18 mostra o DC para esta situação.

FIGURA 18 – DC PARA TOTAL DE ESTUDANTES



FONTE: O autor (2019)

3.1.3 Diagrama Causal proposto

Baseado nas variáveis analisadas pode-se propor um modelo de dinâmica de sistemas, onde pode-se verificar o relacionamento entre as variáveis citadas. Neste modelo pode-se observar que se trata de um modelo complexo, onde as variáveis são interdependentes dependendo de outras para a quantificação da quantidade de passageiros transportados. A FIGURA 19 mostra o DC proposto, sendo a junção de todos os subsistemas descritos anteriormente.

3.2 VALIDAÇÃO DO MODELO

Após a construção do modelo completo, verificou-se quais as variáveis possuíam dados públicos disponíveis e que poderiam ser posteriormente replicadas em outros estudos, conforme o QUADRO 6. Baseado no modelo original, foram formulados novos subsistemas e validados individualmente para a análise do sistema completo.

QUADRO 6 – VARIÁVEIS VALIDAÇÃO

Variável	Fonte
Quantidade de automóveis	DETRAN-PR
Quantidade de motocicletas	DETRAN-PR
Quantidade de demissões	CAGED
Quantidade de admissões	CAGED
Valor da tarifa	URBS
Matrículas na rede estadual	IBGE
Matrículas na rede municipal	IBGE
Matrículas na rede federal	IBGE
Matrículas na rede privada	IBGE
Total de Estudantes	IBGE

FONTE: O Autor (2019)

Estes modelos foram simulados utilizando o software Vensim PLE[®], para a geração dos valores futuros. Para a validação dos subsistemas foram utilizados os dados históricos obtidos entre 2013 e 2016 e validados com os dados de 2017. Para o modelo completo, foram validados para os 36 meses entre 2017 e 2019 e individualmente para o ano de 2019.

Para uma análise do modelo proposto para o subsistema veículos de passeio foi feita comparação entre o a taxa de crescimento média proposta e um modelo de regressão linear, onde o método proposto se comprovou mais adequado.

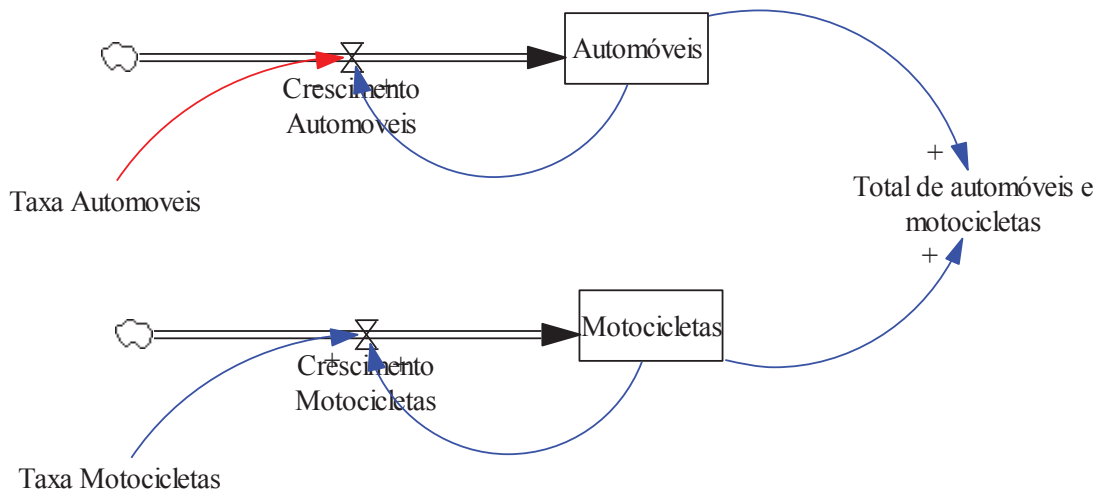
No APÊNDICE 1 estão as tabelas com os valores de 2013 a 2016.

3.2.1 Veículos de Passeio

O uso de veículos de passeio possui influência inversamente proporcional ao número de passageiros no transporte público. Nesse subsistema, foram calculadas as taxas de crescimento do número de automóveis e de motocicletas, que vão incrementando as variáveis iniciais de automóveis e motocicletas. Estas variáveis se

somam chegando ao valor total de automóveis e motocicletas, estes relacionamentos são apresentados na FIGURA 20.

FIGURA 20 – DC PARA VEÍCULOS DE PASSEIO



FONTE: O autor (2019)

Para o modelo, foram utilizados os dados de veículos cadastrados pelo DETRAN-PR². Com estes dados foram calculadas as taxas de crescimento médias para o período entre 2013 e 2016, para a taxa de automóveis foi considerada negativa pois ela estava em tendência de queda. (a tabela e o cálculo das taxas encontram-se no APÊNDICE 1) obtendo-se:

- Taxa Automóveis: -0,119%
- Taxa Motocicletas: 0,086%

Para o crescimento foram utilizadas as seguintes formulações:

$$\begin{aligned} \text{Crescimento Automóveis} &= \text{Automóveis}_{n-1} * \text{taxa Automóveis} \\ \text{Crescimento Motocicletas} &= \text{Motocicletas}_{n-1} * \text{taxa Motocicletas} \end{aligned}$$

Onde, n-1 representa o valor acumulado no mês anterior.

² DETRAN-PR – Estatísticas de trânsito - <http://www.detran.pr.gov.br/Pagina/Estatisticas-de-transito>

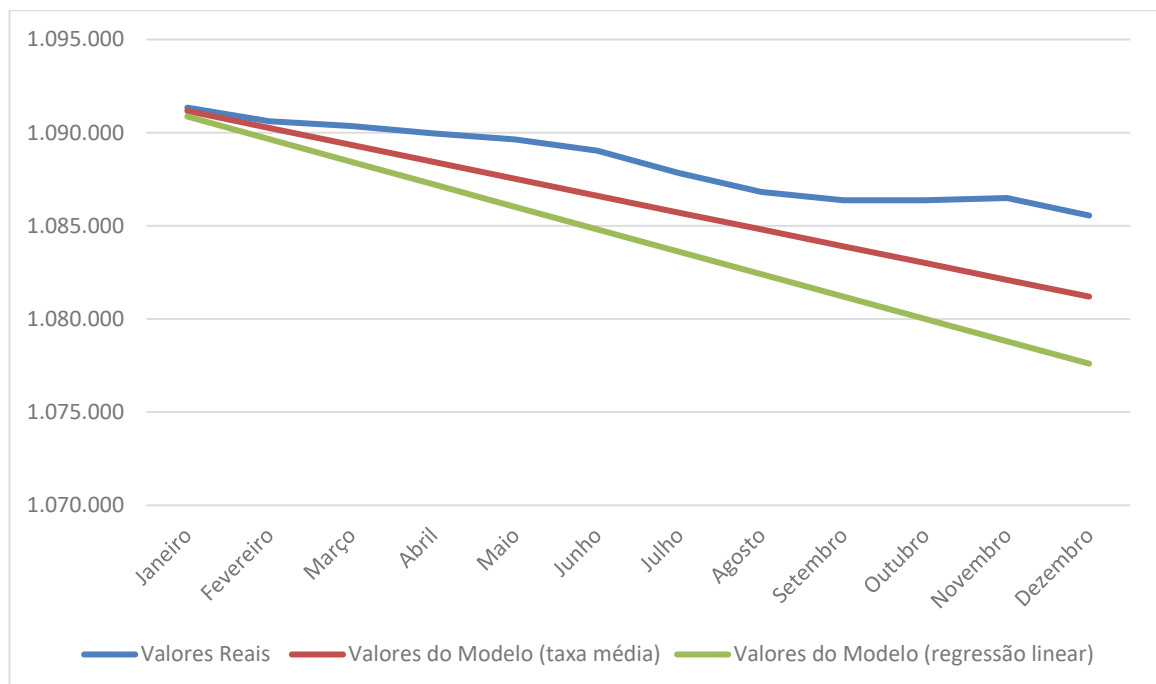
Obtendo-se o total de veículos de passeio:

$$\begin{aligned} \text{Automóveis} &= \text{Crescimento Automóveis} + \text{Automóveis}_{n-1} \\ \text{Motocicletas} &= \text{Crescimento Motocicletas} + \text{Motocicletas}_{n-1} \\ \text{Veículos de Passeio} &= \text{Automóveis} + \text{Motocicletas} \end{aligned}$$

Os resultados obtidos demonstram que o modelo formulado representa os dados históricos:

- O GRÁFICO 1 e a TABELA 1 mostram os dados da quantidade total de veículos de passeio encontradas por meio do modelo e a quantidade real.
- O GRÁFICO 2 e a TABELA 2 mostram os dados da quantidade de automóveis encontradas por meio do modelo e a quantidade real.
- O GRÁFICO 3 e a TABELA 3 mostram os dados da quantidade de motocicletas encontradas por meio do modelo e a quantidade real.

GRÁFICO 1 – QUANTIDADE DE VEÍCULOS DE PASSEIO 2017



FONTE: O autor (2019)

TABELA 1 – QUANTIDADE DE VEICULOS DE PASSEIO 2017

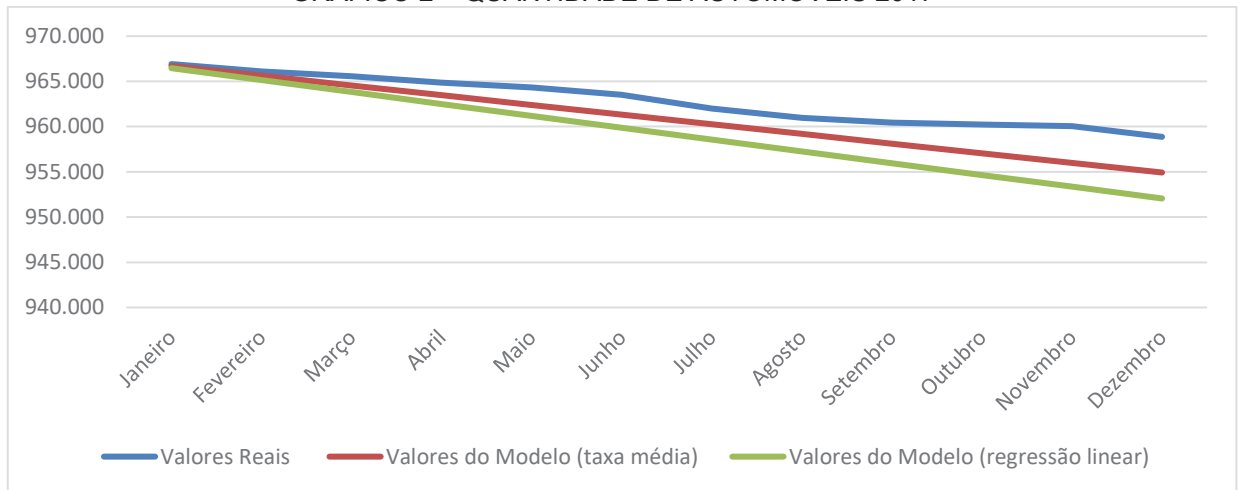
			Resíduos (taxa média)			Resíduos (regressão linear)			
	Valores Reais	Valores do Modelo (taxa média)	Valores do Modelo (regressão linear)	Modelo – Real	%	Abs(%)	Modelo – Real	%	Abs(%)
	Unidades	Unidades	Unidades						
Inicial - Dezembro /2016	967.778								
	2017								
Janeiro	1.091.344	1.091.169	1.090.867	-175	-0,02%	0,02%	-477	-0,04%	0,04%
Fevereiro	1.090.619	1.090.256	1.089.652	-363	-0,03%	0,03%	-967	-0,09%	0,09%
Março	1.090.356	1.089.345	1.088.438	-1.012	-0,09%	0,09%	-1.918	-0,18%	0,18%
Abril	1.089.953	1.088.434	1.087.227	-1.519	-0,14%	0,14%	-2.726	-0,25%	0,25%
Mai	1.089.642	1.087.525	1.086.017	-2.117	-0,19%	0,19%	-3.625	-0,33%	0,33%
Junho	1.089.038	1.086.618	1.084.810	-2.420	-0,22%	0,22%	-4.228	-0,39%	0,39%
Julho	1.087.825	1.085.712	1.083.604	-2.114	-0,19%	0,19%	-4.221	-0,39%	0,39%
Agosto	1.086.817	1.084.807	1.082.400	-2.010	-0,18%	0,18%	-4.417	-0,41%	0,41%
Setembro	1.086.375	1.083.904	1.081.198	-2.472	-0,23%	0,23%	-5.177	-0,48%	0,48%
Outubro	1.086.375	1.083.002	1.079.998	-3.373	-0,31%	0,31%	-6.377	-0,59%	0,59%
Novembro	1.086.494	1.082.101	1.078.800	-4.393	-0,40%	0,40%	-7.694	-0,71%	0,71%
Dezembro	1.085.555	1.081.202	1.077.604	-4.353	-0,40%	0,40%	-7.951	-0,73%	0,73%
			Média	-2.193	-0,20%	0,20%	-4.148	-0,38%	0,38%

FONTE: O autor (2019)

A TABELA 1 mostra os valores reais e os valores calculados pelo modelo. Para efeito de comparação foi feita também uma análise através de regressão linear, para as variáveis quantidade de automóveis e quantidade de motocicletas. No GRÁFICO 1 são apresentados os valores reais, pela taxa de crescimento média e pela regressão linear. A primeira coluna representa os valores reais referentes a quantidade de automóveis para o ano de 2017 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, nas colunas 2 e 3 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017. Na coluna 4 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela taxa de crescimento média, na coluna 5 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 6 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. Na coluna 7 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela taxa de crescimento média, na coluna 8 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 9 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A comparação entre os valores dos dois modelos, mostra que o valor utilizado da taxa de crescimento média apresentou melhor resultado que a regressão linear. A última linha da TABELA 1 mostra as médias dos resíduos, em

primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, mesmo o modelo errando para baixo durante o período analisado. Já a média percentual absoluta é de 0,20%, ou seja, em média o modelo erra 0,20% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 2 – QUANTIDADE DE AUTOMÓVEIS 2017



FONTE: O autor (2019)

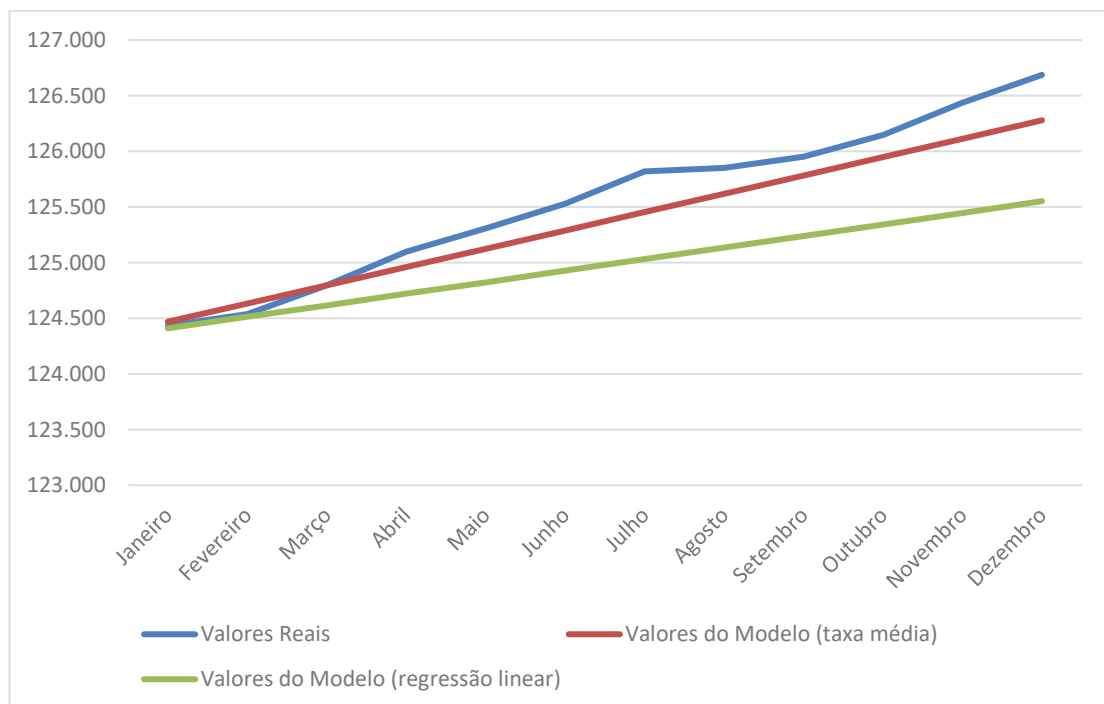
TABELA 2 – QUANTIDADE DE AUTOMÓVEIS 2017

				Resíduos (taxa média)			Resíduos (regressão linear)		
	Valores Reais	Valores do Modelo (taxa média)	Valores do Modelo (regressão linear)	Modelo - Real	%	Abs(%)	Modelo - Real	%	Abs(%)
	Unidades	Unidades	Unidades						
Inicial - Dezembro /2016	967.778								
	2017								
Janeiro	966.911	966.700	966.458	-211	-0,02%	0,02%	-453	-0,05%	0,05%
Fevereiro	966.083	965.624	965.139	-459	-0,05%	0,05%	-944	-0,10%	0,10%
Março	965.560	964.548	963.822	-1.012	-0,10%	0,10%	-1.738	-0,18%	0,18%
Abril	964.856	963.474	962.507	-1.382	-0,14%	0,14%	-2.349	-0,24%	0,24%
Mai	964.333	962.401	961.194	-1.932	-0,20%	0,20%	-3.139	-0,33%	0,33%
Junho	963.510	961.329	959.883	-2.181	-0,23%	0,23%	-3.627	-0,38%	0,38%
Julho	962.005	960.259	958.573	-1.746	-0,18%	0,18%	-3.432	-0,36%	0,36%
Agosto	960.967	959.189	957.265	-1.778	-0,19%	0,19%	-3.702	-0,39%	0,39%
Setembro	960.423	958.121	955.959	-2.302	-0,24%	0,24%	-4.464	-0,46%	0,46%
Outubro	960.227	957.054	954.655	-3.173	-0,33%	0,33%	-5.572	-0,58%	0,58%
Novembro	960.056	955.988	953.353	-4.068	-0,42%	0,42%	-6.703	-0,70%	0,70%
Dezembro	958.868	954.923	952.052	-3.945	-0,41%	0,41%	-6.816	-0,71%	0,71%
			Média	-2.016	-0,21%	0,21%	-3.578	-0,37%	0,37%

FONTE: O autor (2019)

A TABELA 2 mostra os valores reais e os valores calculados pelo modelo. Para efeito de comparação foi feita também uma análise através de regressão linear, onde chegou-se na seguinte equação: $9,59+0,013t$. A primeira coluna representa os valores reais referentes a quantidade de automóveis para o ano de 2017 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, nas colunas 2 e 3 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017. Na coluna 4 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela taxa de crescimento média, na coluna 5 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 6 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. Na coluna 7 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela regressão linear, na coluna 8 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 9 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A comparação entre os valores dos dois modelos, mostra que o valor utilizado da taxa de crescimento média apresentou melhor resultado que a regressão linear. A última linha da TABELA 2 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, mesmo o modelo errando para baixo durante o período analisado. Já a média percentual absoluta é de 0,21%, ou seja, em média o modelo erra 0,21% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 3 – QUANTIDADE DE MOTOCICLETAS 2017



FONTE: O autor (2019)

TABELA 3 – QUANTIDADE DE MOTOCICLETAS 2017

			Resíduos (taxa média)			Resíduos (regressão linear)			
	Valores Reais	Valores do Modelo (taxa média)	Valores do Modelo (regressão linear)	Modelo – Real	%	Abs(%)	Modelo – Real	%	Abs(%)
	Unidades	Unidades	Unidades						
Inicial - Dezembro /2016	124.306								
	2017								
Janeiro	124.433	124.469	124.409	36	0,03%	0,03%	-24	-0,02%	0,02%
Fevereiro	124.536	124.633	124.513	97	0,08%	0,08%	-23	-0,02%	0,02%
Março	124.796	124.796	124.616	0	0,00%	0,00%	-180	-0,14%	0,14%
Abril	125.097	124.960	124.720	-137	-0,11%	0,11%	-377	-0,30%	0,30%
Maio	125.309	125.124	124.823	-185	-0,15%	0,15%	-486	-0,39%	0,39%
Junho	125.528	125.289	124.927	-240	-0,19%	0,19%	-601	-0,48%	0,48%
Julho	125.820	125.453	125.031	-367	-0,29%	0,29%	-789	-0,63%	0,63%
Agosto	125.850	125.618	125.135	-232	-0,18%	0,18%	-715	-0,57%	0,57%
Setembro	125.952	125.783	125.239	-169	-0,13%	0,13%	-713	-0,57%	0,57%
Outubro	126.148	125.948	125.343	-200	-0,16%	0,16%	-805	-0,64%	0,64%
Novembro	126.438	126.113	125.447	-325	-0,26%	0,26%	-991	-0,78%	0,78%
Dezembro	126.687	126.279	125.552	-408	-0,32%	0,32%	-1.135	-0,90%	0,90%
			Média	-177	-0,14%	0,16%	-570	-0,45%	0,45%

FONTE: O autor (2019)

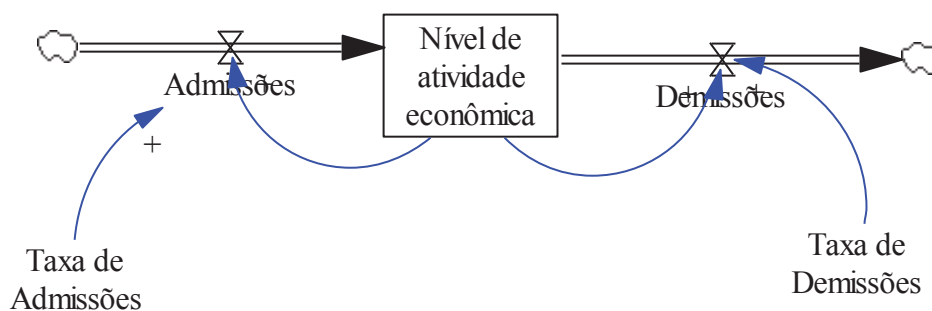
A TABELA 3 mostra os valores reais e os valores calculados pelo modelo. Para efeito de comparação foi feita também uma análise através de regressão linear, onde chegou-se na seguinte equação: $0,96+0,0008t$. A primeira coluna representa os valores reais referentes a quantidade de automóveis para o ano de 2017 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, nas colunas 2 e 3 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017. Na coluna 4 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela taxa de crescimento média, na coluna 5 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 6 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. Na coluna 7 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado pela taxa de crescimento média, na coluna 8 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 9 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A comparação entre os valores dos dois modelos, mostra que o valor utilizado da taxa de crescimento média apresentou melhor resultado que a regressão linear. A última linha da TABELA 2 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual

é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, mesmo o modelo errando para baixo durante o período analisado. Já a média percentual absoluta é de 0,16%, ou seja, em média o modelo erra 0,16% para cima ou para baixo.

3.2.2 Nível de atividade econômica

O nível de atividade econômica é diretamente proporcional ao número de passageiros no transporte público. Nesse subsistema, foram calculadas as taxas de crescimento do número de admissões e demissões, que vão incrementando a variável de quantidade de trabalhadores empregados. Estes relacionamentos são apresentados na FIGURA 21.

FIGURA 21 – DC PARA NÍVEL DE ATIVIDADE ECONÔMICA



FONTE: O autor (2019)

Para o modelo, foi utilizada a quantidade de admissões e demissões segundo o Ministério do Trabalho – CAGED³. Com estes dados foram calculadas as taxas de crescimento médias para o período entre 2013 e 2016 (a tabela e o cálculo da taxa encontram-se no APÊNDICE 1), obtendo-se:

- Taxa de admissões: 3,023%
- Taxa de demissões: 3,103%

³ Ministério do Trabalho – CAGED - <http://pdet.mte.gov.br/caged?view=default>

Para o crescimento foram utilizadas as seguintes formulações:

$$Admissões = Empregos_{n-1} * Taxa de Admissões$$

$$Demissões = Empregos_{n-1} * Taxa de Demissões$$

Obtendo-se o total de empregos:

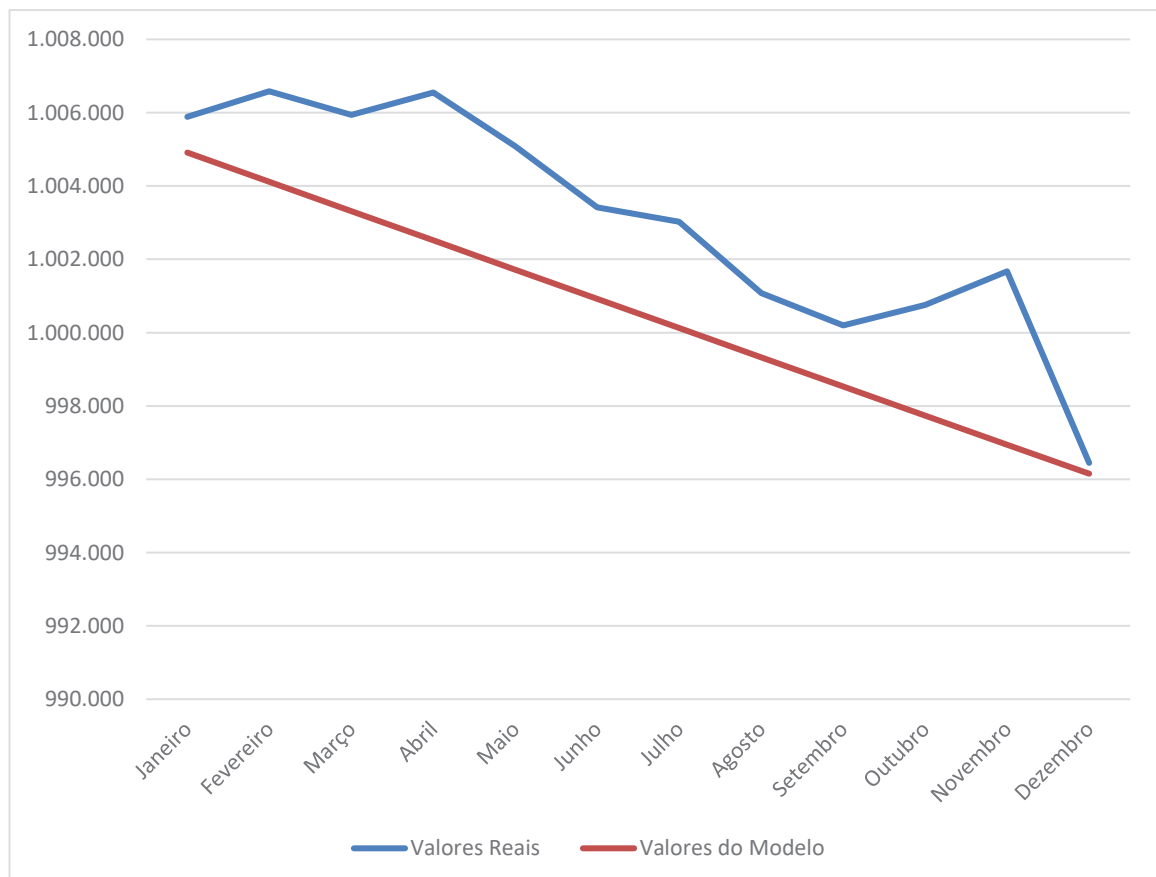
$$Empregos = Empregos_{n-1} + Admissões - Demissões$$

Onde, n-1 representa o valor acumulado no mês anterior.

Os resultados obtidos demonstram que o modelo formulado representa os dados históricos:

- O GRÁFICO 4 e a TABELA 4 mostram os quantidade de trabalhadores empregados encontradas por meio do modelo e a quantidade real.

GRÁFICO 4 – QUANTIDADE DE TRABALHADORES EMPREGADOS 2017



FONTE: O autor (2019)

TABELA 4 – QUANTIDADE DE TRABALHADORES EMPREGADOS 2017

					Resíduos		
	Valores Reais			Valores do Modelo	Modelo – Real	%	Abs(%)
	Admissões	Demissões	Empregados	Empregados			
	Pessoas	Pessoas	Pessoas	Pessoas			
Inicial - Dezembro /2016			1.005.712				
	2017						
Janeiro	23.778	23.602	1.005.888	1.004.912	-976	-0,10%	0,10%
Fevereiro	25.774	25.078	1.006.584	1.004.112	-2.472	-0,25%	0,25%
Março	26.014	26.659	1.005.939	1.003.313	-2.626	-0,26%	0,26%
Abril	22.568	21.952	1.006.555	1.002.515	-4.040	-0,40%	0,40%
Maiο	24.321	25.790	1.005.086	1.001.717	-3.369	-0,34%	0,34%
Junho	22.418	24.090	1.003.414	1.000.920	-2.494	-0,25%	0,25%
Julho	22.572	22.960	1.003.026	1.000.124	-2.902	-0,29%	0,29%
Agosto	24.276	26.224	1.001.078	999.328	-1.750	-0,18%	0,18%
Setembro	23.277	24.160	1.000.195	998.533	-1.662	-0,17%	0,17%
Outubro	24.184	23.626	1.000.753	997.738	-3.015	-0,30%	0,30%
Novembro	23.887	22.968	1.001.672	996.945	-4.728	-0,47%	0,47%
Dezembro	19.050	24.276	996.446	996.151	-295	-0,03%	0,03%
				Média	-2.527	-0,25%	0,25%

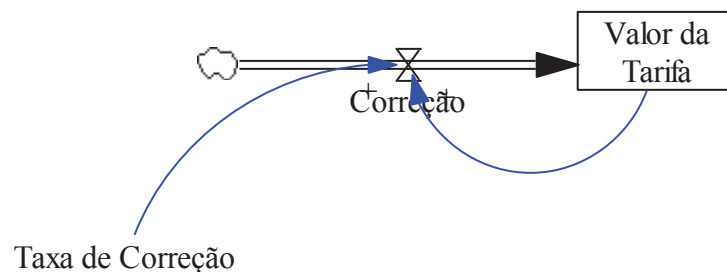
FONTE: O autor (2019)

A TABELA 4 mostra na primeira coluna a quantidade de admissões, na coluna 2 a quantidade de demissões e na coluna 3 a quantidade de trabalhadores empregados para o ano de 2017 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016. Na coluna 4 apresentam-se os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017. Na coluna 5 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 6 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 7 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 4 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, ou seja, o modelo erra tanto para cima quanto pra baixo. Já a média percentual absoluta é de 0,25%, ou seja, em média o modelo erra 0,25% para cima ou para baixo.

3.2.3 Preço da Passagem

O preço da passagem possui relacionamento inversamente proporcional ao número de passageiros no transporte público. Nesse subsistema, foi calculada a taxa de crescimento do valor da tarifa. Esta variável tem um valor histórico dependente de discussões técnicas e políticas, o que afeta o crescimento gradual da tarifa. No modelo trabalhado, levou-se em consideração o crescimento histórico do preço da passagem. Estes relacionamentos são apresentados na FIGURA 22.

FIGURA 22– DC PARA PREÇO DA PASSAGEM



FONTE: O autor (2019)

Para o modelo, foi utilizada a variação do valor da tarifa entre 2013 e 2016. Com estes dados foi calculada a taxa de crescimento média para o período entre 2013 e 2016 (a tabela e o cálculo da taxa encontram-se no APÊNDICE 1), obtendo-se:

- Taxa de correção: 1,21%

Para o crescimento foram utilizadas as seguintes formulações:

$$\text{Correção} = \text{Taxa de Correção} * \text{Preço da Passagem}_{n-1}$$

Obtendo-se o preço da passagem:

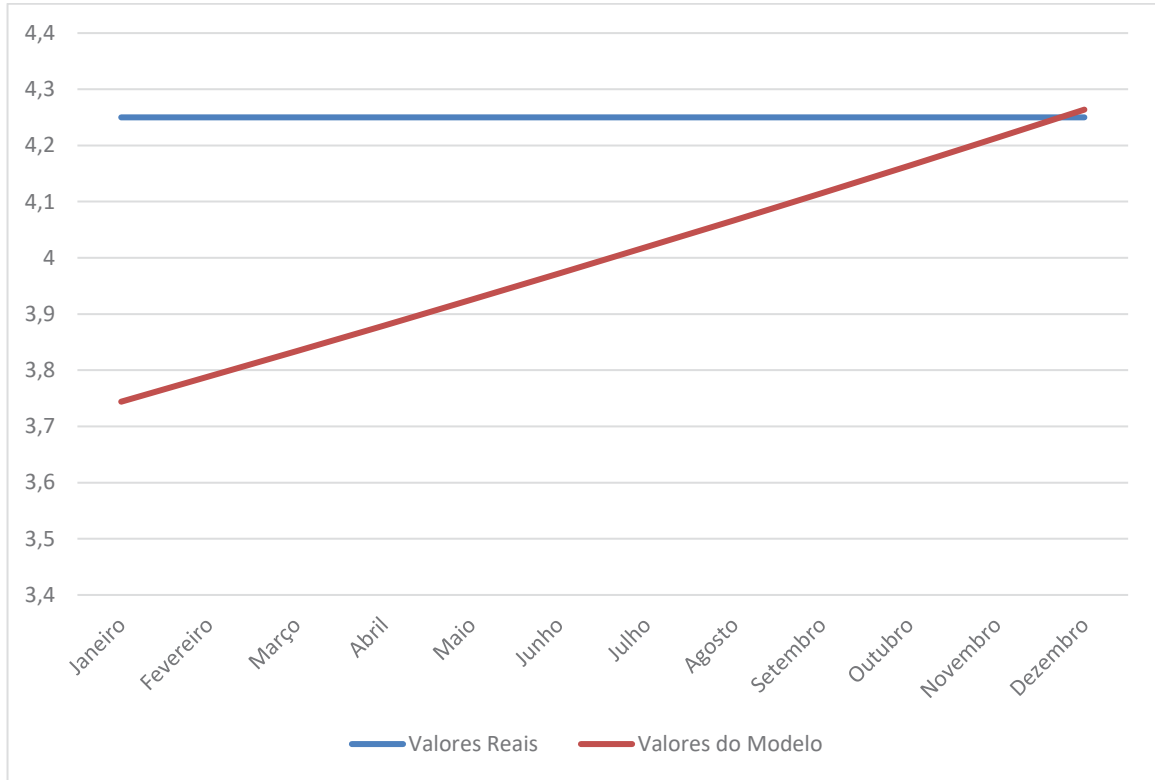
$$\text{Preço da Passagem} = \text{Preço da Passagem}_{n-1} + \text{Correção}$$

Onde, n-1 representa o valor da tarifa no mês anterior.

Para a obtenção do resultado, como no ano de 2017 houve um congelamento do preço da passagem, foi utilizado no modelo, como valor inicial da passagem o de R\$ 3,70 que foi último valor antes do congelamento.

A TABELA 5 mostra a variação do preço da passagem encontrada por meio do modelo e a variação real, no caso o valor congelado.

GRÁFICO 5 – VALOR DO PREÇO DA PASSAGEM 2017



FONTE: O autor (2019)

TABELA 5 – VALOR DO PREÇO DA PASSAGEM 2017

			Resíduos		
	Valores Reais	Valores do Modelo	Modelo – Real	%	Abs(%)
	R\$	R\$			
Inicial - Dezembro /2016	3,70				
	2017				
Janeiro	4,25	3,74	- 0,51	-11,91%	11,91%
Fevereiro	4,25	3,79	- 0,46	-10,86%	10,86%
Março	4,25	3,83	- 0,42	-9,80%	9,80%
Abril	4,25	3,88	- 0,37	-8,73%	8,73%
Maiο	4,25	3,93	- 0,32	-7,64%	7,64%
Junho	4,25	3,97	- 0,28	-6,54%	6,54%
Julho	4,25	4,02	- 0,23	-5,43%	5,43%
Agosto	4,25	4,07	- 0,18	-4,31%	4,31%
Setembro	4,25	4,12	- 0,13	-3,17%	3,17%
Outubro	4,25	4,16	- 0,09	-2,02%	2,02%
Novembro	4,25	4,21	- 0,04	-0,85%	0,85%
Dezembro	4,25	4,26	0,01	0,32%	0,32%
		Média	0	-5,91%	5,97%

FONTE: O autor (2019)

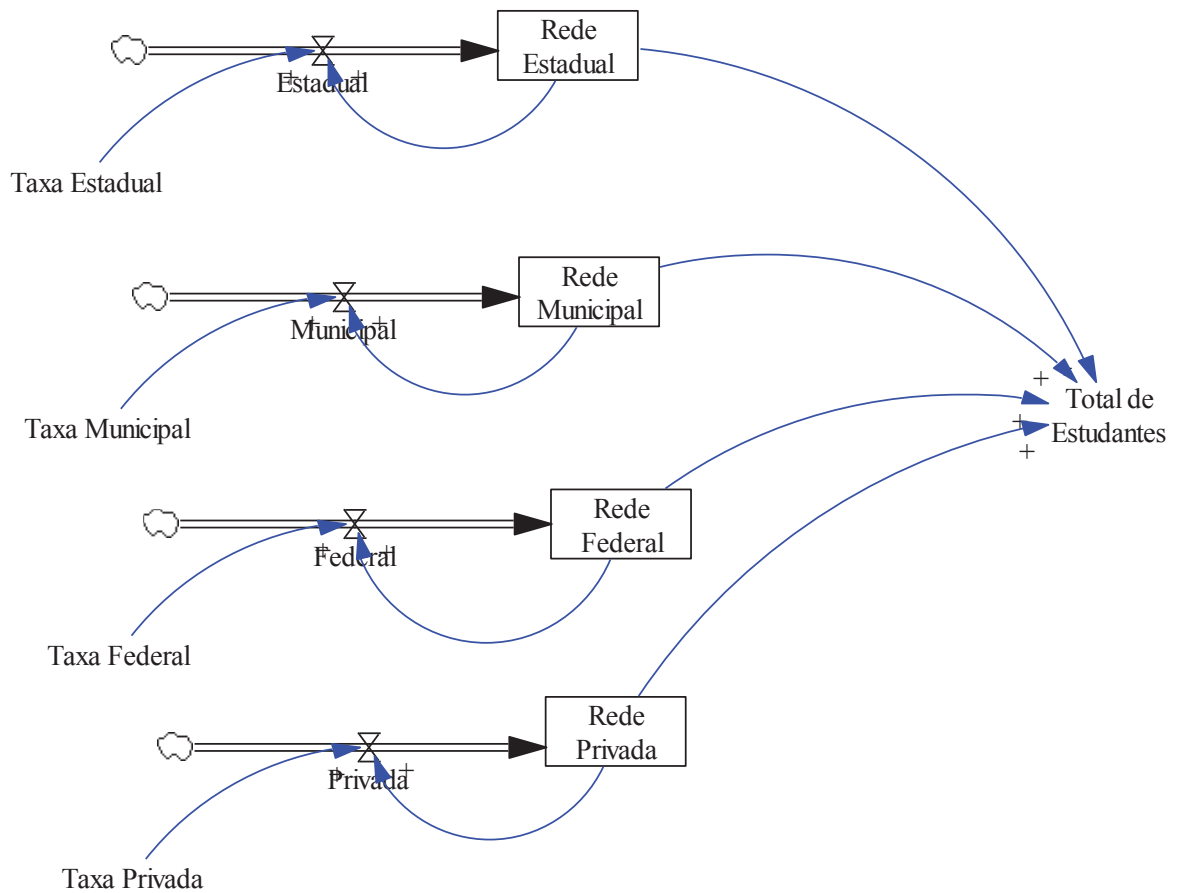
O GRÁFICO 5 e a TABELA 5 mostram o valor da tarifa congelada no ano de 2017, no valor de R\$ 4,25. O GRÁFICO 5 apresenta uma discrepância entre o valor real e o estimado, pois o valor real é constante e o modelo como é calculado mensalmente apresenta crescimento. Na TABELA 5 coluna 2 apresentam-se os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e o valor utilizado como inicial para o modelo em dezembro de 2016. Na coluna 5 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 6 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017, e na coluna 7 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. Estes valores apresentam uma diferença grande devido ao congelamento da tarifa, que não permite uma análise real.

3.2.4 Alunos Matriculados

A quantidade de alunos matriculados nas escolas possui relacionamento diretamente proporcional ao número de passageiros no transporte público. Nesse subsistema, foram calculadas as taxas de crescimento do número alunos nas escolas privadas e públicas, das redes municipal, estadual e federal. Como o número de

alunos não sofre variações durante o ano, optou-se por considerar a variação anual, como se a quantidade de alunos estivesse crescente durante o ano, igualando-se o modelo a quantidade real no mês de janeiro. Estas variáveis somam-se chegando ao valor total de alunos matriculados, estes relacionamentos são apresentados na FIGURA 23.

FIGURA 23 – DC PARA ALUNOS MATRICULADOS



FONTE: O autor (2019)

Para o modelo, foi utilizada a quantidade de alunos matriculados segundo o IBGE⁴.

⁴ IBGE – Censo escolar - sinopse - <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/pesquisa/13/5908>

Com estes dados foram calculadas as taxas de crescimento médias mensais para o período entre 2013 e 2016 (a tabela e o cálculo das taxas encontram-se no APÊNDICE 1), obtendo-se:

- Taxa Estadual: -0,229%
- Taxa Municipal: -0,034%
- Taxa Federal: -0,034%
- Taxa Privada: 0,102%

Para o crescimento foram utilizadas as seguintes formulações:

$$\begin{aligned} \text{Estadual} &= \text{Rede Estadual}_{n-1} * \text{Taxa Estadual} \\ \text{Municipal} &= \text{Rede Municipal}_{n-1} * \text{Taxa Municipal} \\ \text{Federal} &= \text{Rede Federal}_{n-1} * \text{Taxa Federal} \\ \text{Privada} &= \text{Rede Privada}_{n-1} * \text{Taxa Privada} \end{aligned}$$

Onde, n-1 representa a quantidade de matrículas no mês anterior.

Obtendo-se o total de alunos matriculados:

$$\begin{aligned} \text{Rede Estadual} &= \text{Rede Estadual}_{n-1} + \text{Estadual} \\ \text{Rede Municipal} &= \text{Rede Municipal}_{n-1} + \text{Municipal} \\ \text{Rede Federal} &= \text{Rede Federal}_{n-1} + \text{Federal} \\ \text{Rede Privada} &= \text{Rede Privada}_{n-1} + \text{Privada} \end{aligned}$$

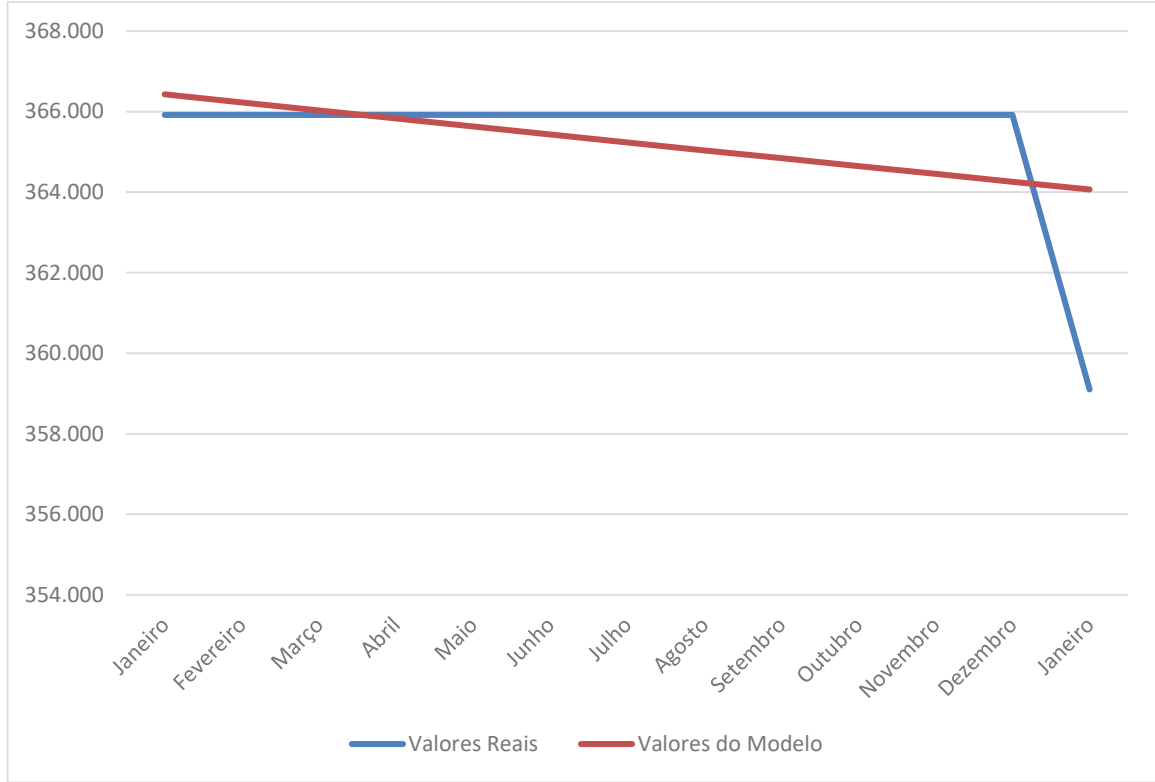
$$\begin{aligned} \text{Alunos Matriculados} &= \text{Rede Estadual} + \text{Rede Municipal} + \text{Rede Federal} \\ &\quad + \text{Rede Particular} \end{aligned}$$

Os resultados obtidos apresentados, incluem o mês de janeiro do 2018, pois está sendo considerada como o mês das matrículas o mês de janeiro.:

- O GRÁFICO 6 e a TABELA 6 mostram os dados da quantidade de alunos da matriculados no município de Curitiba encontradas por meio do modelo;
- O GRÁFICO 7 e a TABELA 7 mostram os dados da quantidade de alunos da rede estadual encontradas por meio do modelo;
- O GRÁFICO 8 e a TABELA 8 mostram os dados da quantidade de alunos da rede federal encontradas por meio do modelo;
- O GRÁFICO 9 e a TABELA 9 mostram os dados da quantidade de alunos da rede privada encontradas por meio do modelo;

- O GRÁFICO 10 e a TABELA 10 mostram os dados da quantidade de alunos da rede estadual encontradas por meio do modelo;

GRÁFICO 6 – MATRÍCULAS TOTAIS 2017 E JANEIRO DE 2018



FONTE: O autor (2019)

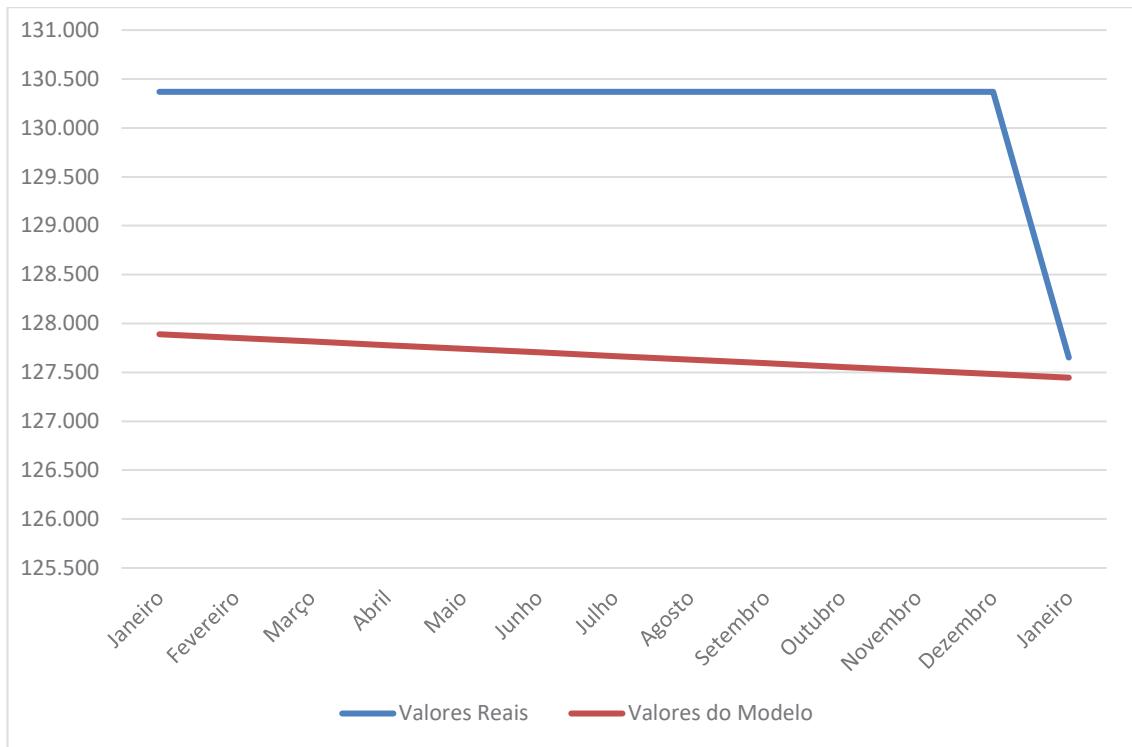
TABELA 6 – MATRÍCULAS TOTAIS 2017 E JANEIRO DE 2018

	Valores Reais	Valores do Modelo	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
	Matrículas	Matrículas			
Inicial - Dezembro /2016	366.631				
	2017				
Janeiro	365.918	366.429	511	0,14%	0,14%
Fevereiro	365.918	366.228	310	0,08%	0,08%
Março	365.918	366.028	110	0,03%	0,03%
Abril	365.918	365.829	-90	-0,02%	0,02%
Mai	365.918	365.630	-288	-0,08%	0,08%
Junho	365.918	365.432	-486	-0,13%	0,13%
Julho	365.918	365.235	-683	-0,19%	0,19%
Agosto	365.918	365.038	-880	-0,24%	0,24%
Setembro	365.918	364.843	-1.075	-0,29%	0,29%
Outubro	365.918	364.648	-1.270	-0,35%	0,35%
Novembro	365.918	364.454	-1.464	-0,40%	0,40%
Dezembro	365.918	364.260	-1.658	-0,45%	0,45%
	2018				
Janeiro	359.101	364.068	4.967	1,38%	1,38%
		Média	-154	-0,04%	0,29%

FONTE: O autor (2019)

O GRÁFICO 6, mostra uma queda brusca nos valores reais em janeiro de 2018, isto ocorre devido ao fato da quantidade de matrículas estar fixada nos meses de janeiro. Nas tabelas verifica-se a adesão ao modelo. A TABELA 6 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a as matrículas da rede estadual para o ano de 2017, janeiro de 2018 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e janeiro de 2018. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017 e janeiro de 2018, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 6 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, ou seja, o modelo erra tanto para cima quanto pra baixo. Já a média percentual absoluta é de 0,29%, ou seja, em média o modelo erra 0,29% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 7 – MATRÍCULAS MUNICIPAL 2017 E JANEIRO DE 2018



FONTE: O autor (2019)

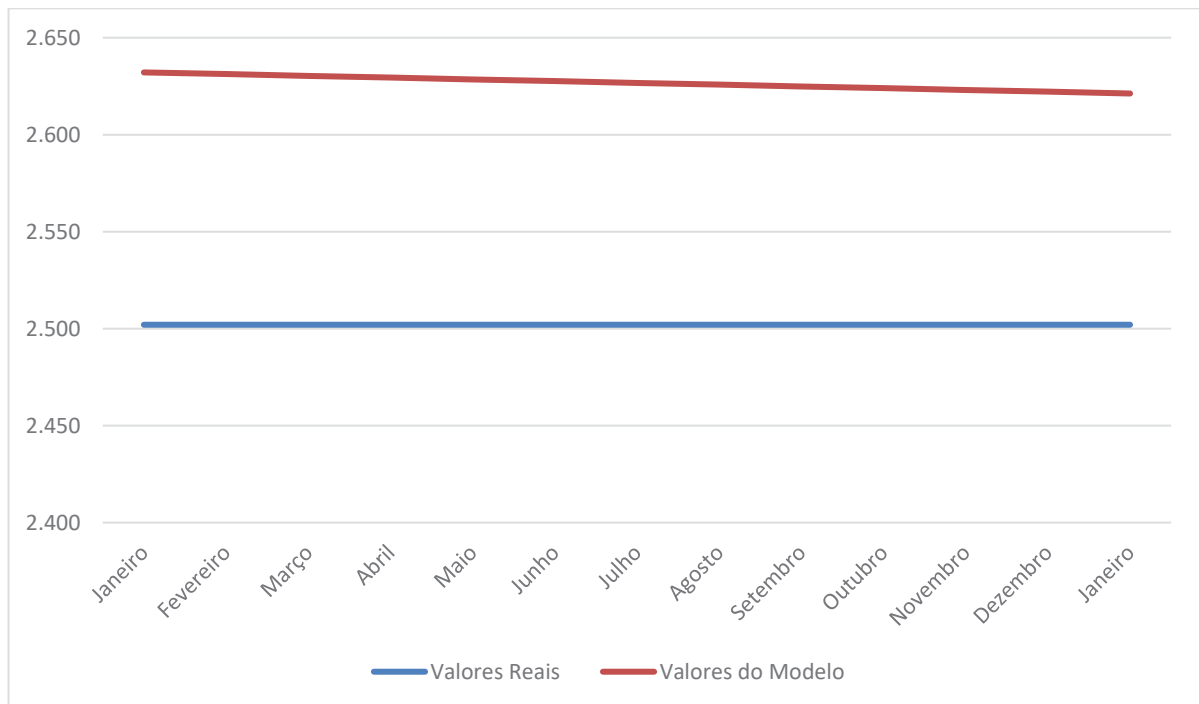
TABELA 7 – MATRÍCULAS REDE MUNICIPAL 2017 E JANEIRO DE 2018

			Resíduos		
	Valores Reais	Valores do Modelo	Modelo – Real	%	Abs(%)
	Matrículas	Matrículas			
Inicial - Dezembro /2016	127.927				
	2017				
Janeiro	130.369	127.890	-2.479	-1,90%	1,90%
Fevereiro	130.369	127.853	-2.516	-1,93%	1,93%
Março	130.369	127.816	-2.553	-1,96%	1,96%
Abril	130.369	127.779	-2.590	-1,99%	1,99%
Maio	130.369	127.742	-2.627	-2,02%	2,02%
Junho	130.369	127.705	-2.664	-2,04%	2,04%
Julho	130.369	127.668	-2.701	-2,07%	2,07%
Agosto	130.369	127.631	-2.738	-2,10%	2,10%
Setembro	130.369	127.594	-2.775	-2,13%	2,13%
Outubro	130.369	127.557	-2.812	-2,16%	2,16%
Novembro	130.369	127.520	-2.849	-2,19%	2,19%
Dezembro	130.369	127.483	-2.886	-2,21%	2,21%
	2018				
Janeiro	127.652	127.446	-206	-0,16%	0,16%
		Média	-2.492	-1,91%	1,91%

FONTE: O autor (2019)

O GRÁFICO 7, mostra uma queda brusca nos valores reais em janeiro de 2018, isto ocorre devido ao fato da quantidade de matrículas estar fixada nos meses de janeiro. Nas tabelas verifica-se a adesão ao modelo. A TABELA 7 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a as matrículas da rede municipal para o ano de 2017, janeiro de 2018 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e janeiro de 2018. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017 e janeiro de 2018, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 6 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é próxima de 2%, mas ao se observar somente o mês de janeiro de 2018, já se percebe uma melhoria, com um resíduo de apenas -0,16%. Já a média percentual absoluta é de 1,91%, ou seja, em média o modelo erra 1,91% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 8 – MATRÍCULAS REDE FEDERAL 2017 E JANEIRO DE 2018



FONTE: O autor (2019)

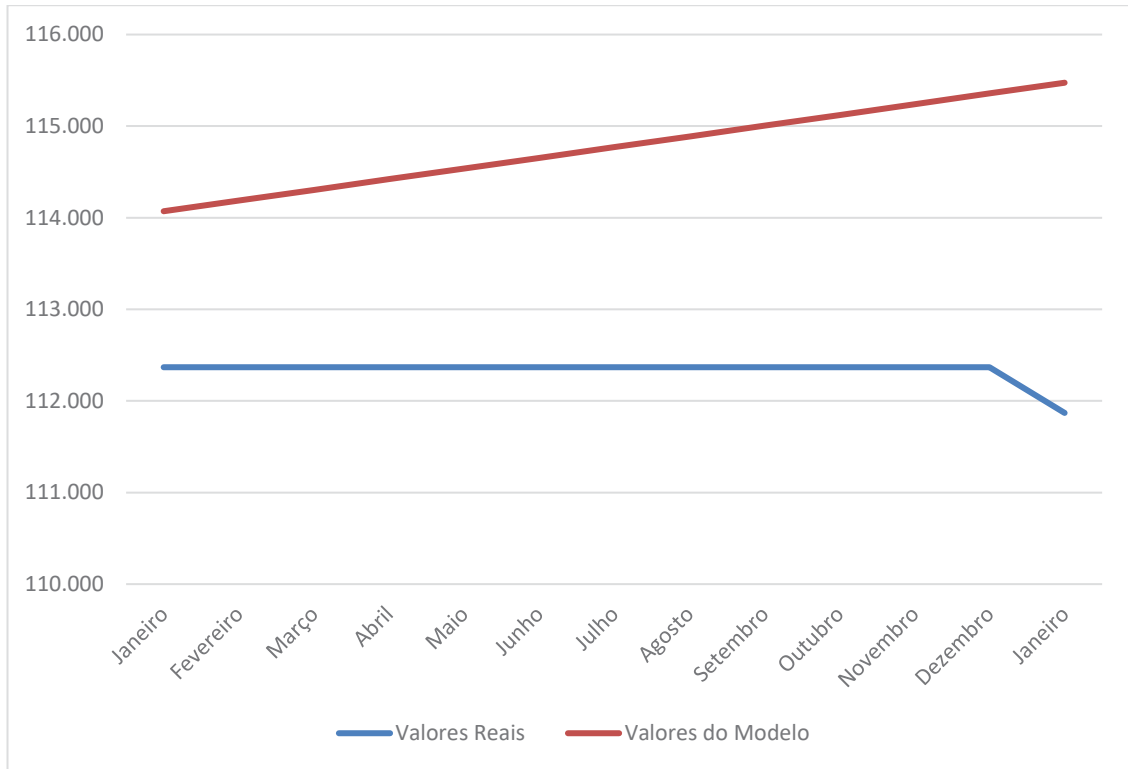
TABELA 8 – MATRÍCULAS REDE FEDERAL 2017 E JANEIRO DE 2018

	Valores Reais	Valores do Modelo	Resíduos		
			Modelo – Real	%	Abs(%)
	Matrículas	Matrículas			
Inicial - Dezembro /2016	2.633				
	2017				
Janeiro	2.502	2.632	130	5,20%	5,20%
Fevereiro	2.502	2.631	129	5,16%	5,16%
Março	2.502	2.630	128	5,13%	5,13%
Abril	2.502	2.629	127	5,09%	5,09%
Maiο	2.502	2.628	126	5,05%	5,05%
Junho	2.502	2.628	126	5,02%	5,02%
Julho	2.502	2.627	125	4,98%	4,98%
Agosto	2.502	2.626	124	4,95%	4,95%
Setembro	2.502	2.625	123	4,91%	4,91%
Outubro	2.502	2.624	122	4,87%	4,87%
Novembro	2.502	2.623	121	4,84%	4,84%
Dezembro	2.502	2.622	120	4,80%	4,80%
	2018				
Janeiro	2.502	2.621	119	4,77%	4,77%
		Média	125	4,98%	4,98%

FONTE: O autor (2019)

O GRÁFICO 8, mostra uma queda brusca nos valores reais em janeiro de 2018, isto ocorre devido ao fato da quantidade de matrículas estar fixada nos meses de janeiro. Nas tabelas verifica-se a adesão ao modelo. A TABELA 8 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a as matrículas da rede federal para o ano de 2017, janeiro de 2018 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e janeiro de 2018. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017 e janeiro de 2018, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 8 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é próxima de 5%, isso percebe-se pelos valores históricos manterem um balanceamento anual muito próximo da média da diferença de 125, sendo que em janeiro de 2018 não ocorreu esta variação. Já a média percentual absoluta é de 4,98%, ou seja, em média o modelo erra 4,98% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 9 – MATRÍCULAS REDE PRIVADA 2017 E JANEIRO DE 2018



FONTE: O autor (2019)

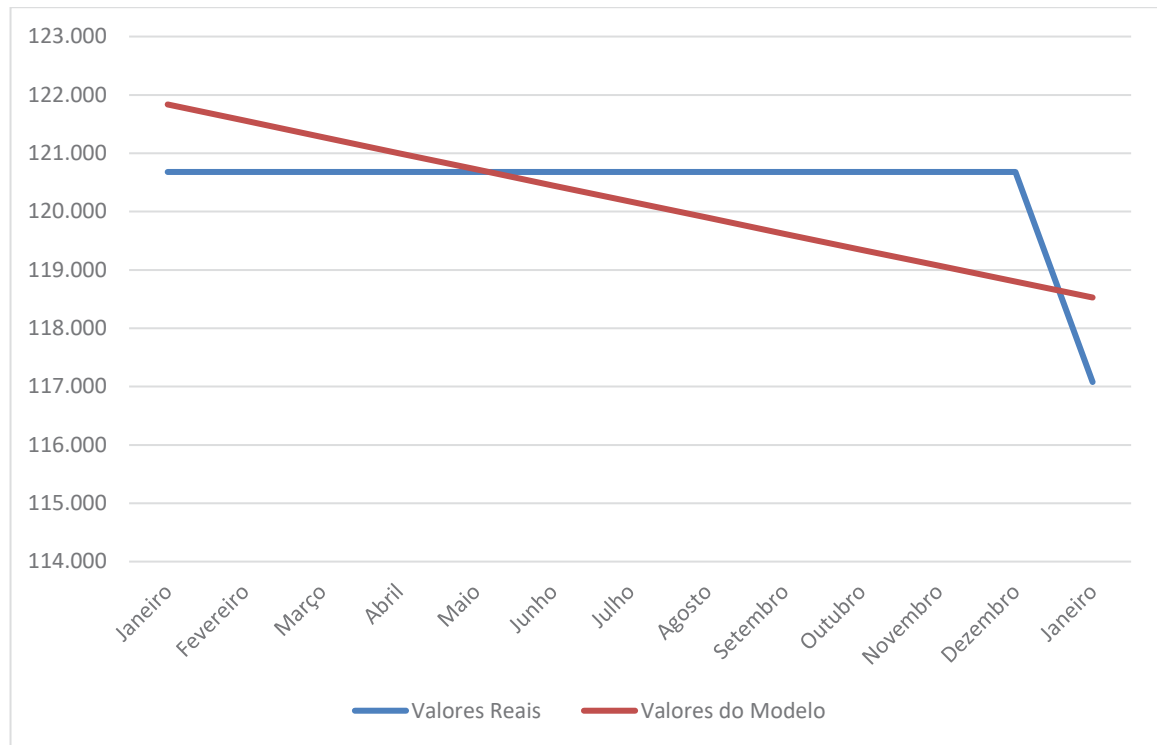
TABELA 9 – MATRÍCULAS REDE PRIVADA 2017 E JANEIRO DE 2018

	Valores Reais	Valores do Modelo	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
	Matrículas	Matrículas			
Inicial - Dezembro /2016	113.955				
	2017				
Janeiro	112.368	114.071	1.703	1,52%	1,52%
Fevereiro	112.368	114.187	1.819	1,62%	1,62%
Março	112.368	114.304	1.936	1,72%	1,72%
Abril	112.368	114.420	2.052	1,83%	1,83%
Mai	112.368	114.537	2.169	1,93%	1,93%
Junho	112.368	114.654	2.286	2,03%	2,03%
Julho	112.368	114.770	2.402	2,14%	2,14%
Agosto	112.368	114.887	2.519	2,24%	2,24%
Setembro	112.368	115.004	2.636	2,35%	2,35%
Outubro	112.368	115.122	2.754	2,45%	2,45%
Novembro	112.368	115.239	2.871	2,55%	2,55%
Dezembro	112.368	115.356	2.988	2,66%	2,66%
	2018				
Janeiro	111.869	115.474	3.605	3,22%	3,22%
		Média	2.442	2,17%	2,17%

FONTE: O autor (2019)

O GRÁFICO 9, mostra uma queda brusca nos valores reais em janeiro de 2018, isto ocorre devido ao fato da quantidade de matrículas estar fixada nos meses de janeiro. Nas tabelas verifica-se a adesão ao modelo. A TABELA 9 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a as matrículas da rede privada para o ano de 2017, janeiro de 2018 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e janeiro de 2018. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017 e janeiro de 2018, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 9 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é próxima de 2%, isso percebe-se historicamente se perceber um crescimento nas matrículas da rede privada, fato este que se reverteu nos anos de 2017 e 2018. Já a média percentual absoluta é de 2,17%, ou seja, em média o modelo erra 2,17% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 10 – MATRÍCULAS REDE ESTADUAL 2017 E JANEIRO DE 2018



FONTE: O autor (2019)

TABELA 10 – MATRÍCULAS REDE ESTADUAL 2017 E JANEIRO DE 2018

	Valores Reais	Valores do Modelo	Modelo – Real	%	Abs(%)
	Matrículas	Matrículas			
Inicial - Dezembro /2016	122.116				
	2017				
Janeiro	120.679	121.836	1.157	0,96%	0,96%
Fevereiro	120.679	121.557	878	0,73%	0,73%
Março	120.679	121.278	599	0,50%	0,50%
Abril	120.679	121.000	321	0,27%	0,27%
Maió	120.679	120.723	44	0,04%	0,04%
Junho	120.679	120.446	-233	-0,19%	0,19%
Julho	120.679	120.170	-509	-0,42%	0,42%
Agosto	120.679	119.895	-784	-0,65%	0,65%
Setembro	120.679	119.620	-1.059	-0,88%	0,88%
Outubro	120.679	119.346	-1.333	-1,10%	1,10%
Novembro	120.679	119.072	-1.607	-1,33%	1,33%
Dezembro	120.679	118.799	-1.880	-1,56%	1,56%
	2018				
Janeiro	117.078	118.527	1.449	1,24%	1,24%
		Média	-228	-0,19%	0,76%

FONTE: O autor (2019)

O GRÁFICO 10, mostra uma queda brusca nos valores reais em janeiro de 2018, isto ocorre devido ao fato da quantidade de matrículas estar fixada nos meses de janeiro. Nas tabelas verifica-se a adesão ao modelo. A TABELA 10 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a as matrículas da rede estadual para o ano de 2017, janeiro de 2018 e o valor inicial do modelo em dezembro de 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para o ano de 2017 e janeiro de 2018. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2017 e janeiro de 2018, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 10 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, ou seja, o modelo erra tanto para cima quanto pra baixo. Já a média percentual absoluta é de 0,76%, ou seja, em média o modelo erra 0,76% para cima ou para baixo.

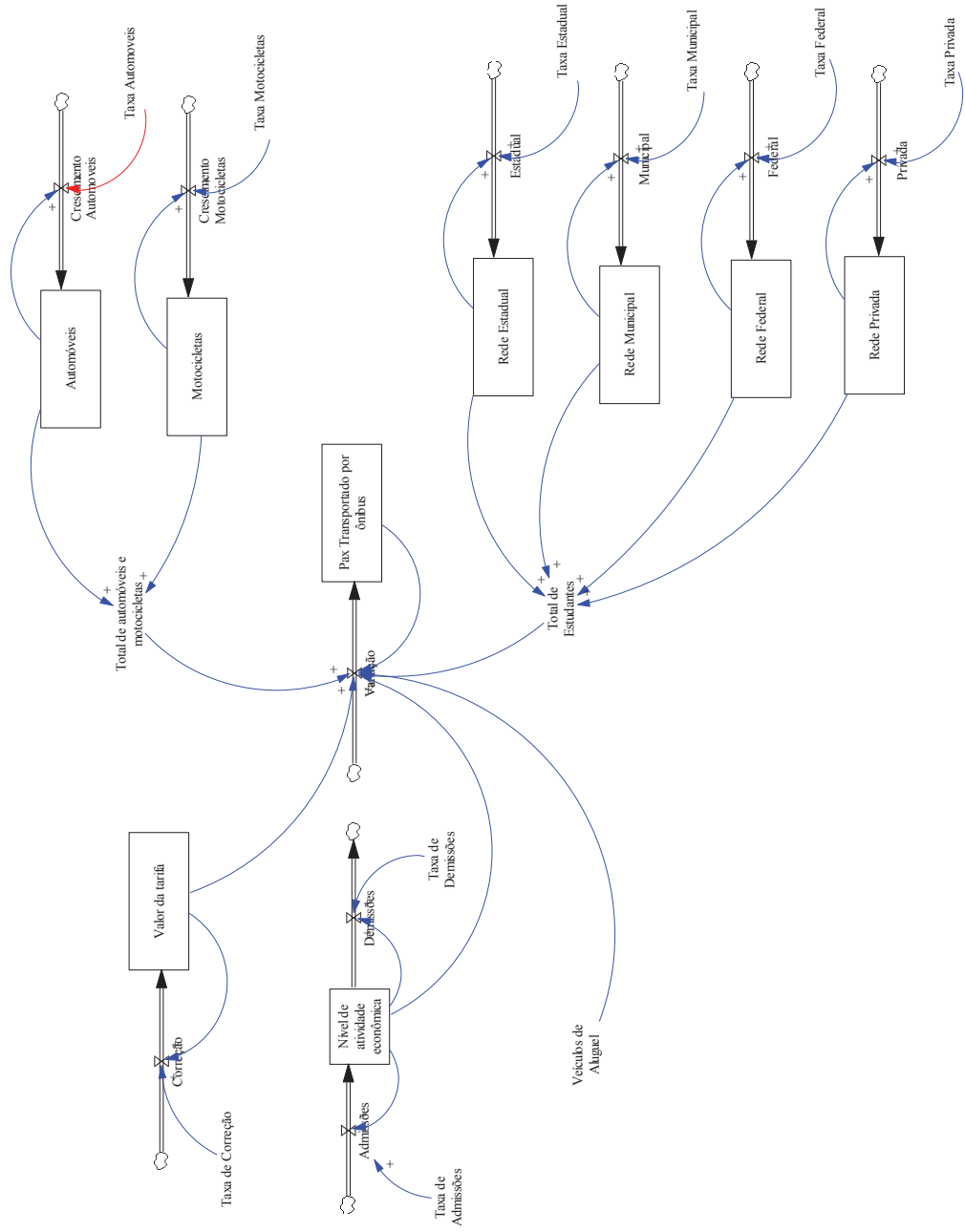
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o DC elaborado tem por objetivo uma análise ao longo do tempo, para efeitos de comparação do modelo para a análise foi contemplado um período de 36 meses, compreendido entre 2017 a 2019. Este período foi utilizado para comparação dos dados reais e estimados.

O DC final proposto incluiu além dos subsistemas já apresentados no capítulo anterior, a variável externa - veículos de aluguel -, que inclui os deslocamentos realizados por aplicativos e taxis. A taxa para a variável veículos de aluguel não foi calculada diretamente, devido à falta de dados específicos sobre estes serviços. No entanto esta variável foi incluída, de maneira empírica, pois percebeu-se no ano de 2017 o início de queda no número de passageiros, coincidente com o início dos serviços de aplicativos em Curitiba.

A FIGURA 24 apresenta o modelo DS para o sistema de transporte de passageiros.

FIGURA 24 – DC PARA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS



FONTE: O autor (2019)

Como as variáveis que influenciam na quantidade de passageiros têm impactos diferentes foi necessária a definição do peso que cada uma delas possui no total de passageiros. Para calcular este peso, foi utilizada a simulação no Software Vensim PLE®, onde foram simuladas diversas possibilidades, onde a que mais se adequou ao resultado final foi:

Taxa Alunos Matriculados

$$= 0,1 * Alunos Matriculados_n / Alunos Matriculados_{inicial}$$

Taxa Veículos de Passeio = $0,7 * Veiculos de Passeio_n / Veiculos de Passeio_{inicial}$

Taxa Preço da Passagem = $0,089 * Preço da Passagem_n / Preço da Passagem_{inicial}$

Taxa Empregos = $Empregos_n / Empregos_{inicial}$

Taxa Veículos de Aluguel = 0,0025

Variação = Pax Transportado por ônibus

$$* (Taxa Alunos Matriculados + Taxa Veiculos de Passeio$$

$$+ Taxa Preço da Passagem + Taxa Empregos$$

$$+ Taxa Veículos de Aluguel)$$

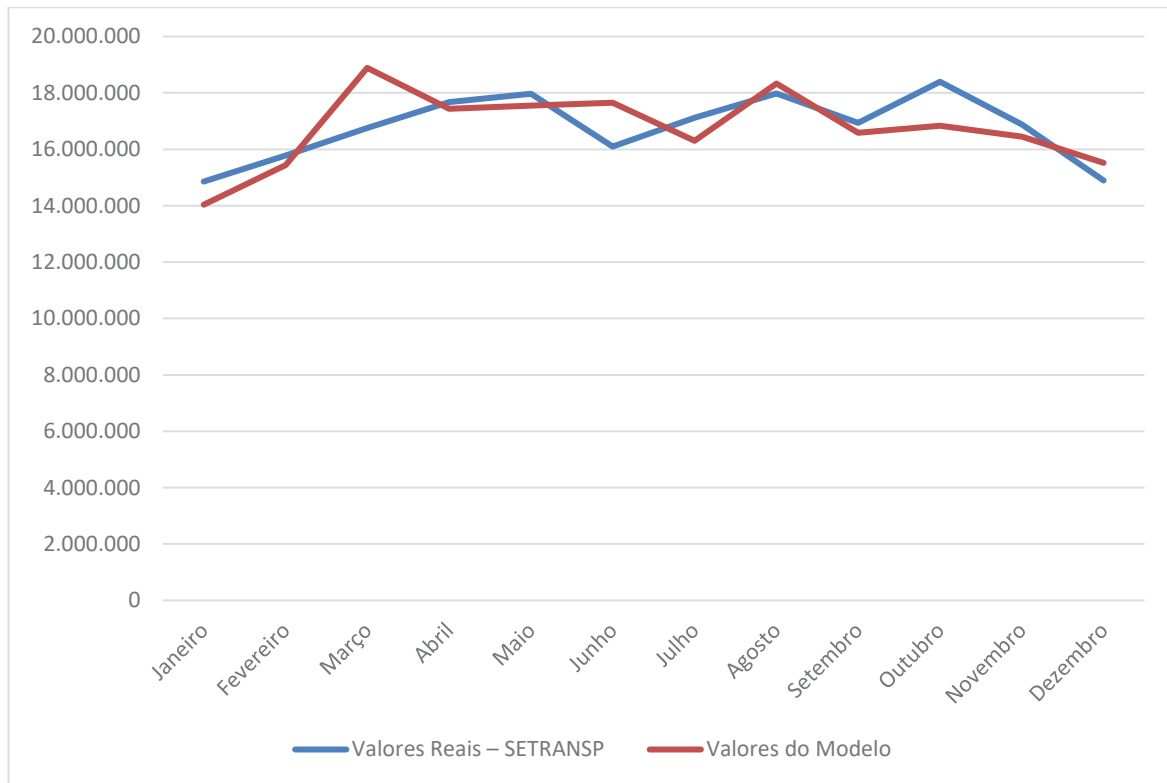
Pax Transportado por ônibus_n = Pax Transportado por ônibus_{n-1} + Variação

Estas formulações também corrigiram um viés de baixa que os modelos individualmente possuíam, e que poderiam levar a uma distorção no resultado do modelo.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados reais fornecidos pela SETRANSP e demonstram que o modelo formulado representa a tendência dos dados históricos. Inicialmente foram analisados os dados do modelo obtidos para o ano de 2019, com os dados de 2019. Posteriormente foram analisados os 36 meses da simulação.

- O GRÁFICO 11 e a TABELA 11 mostram os resultados obtidos para o ano de 2019.
- O GRÁFICO 12 e a TABELA 12 mostram os resultados obtidos para o período entre 2017 e 2019.

GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2019



FONTE: O autor (2020)

TABELA 11 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2019

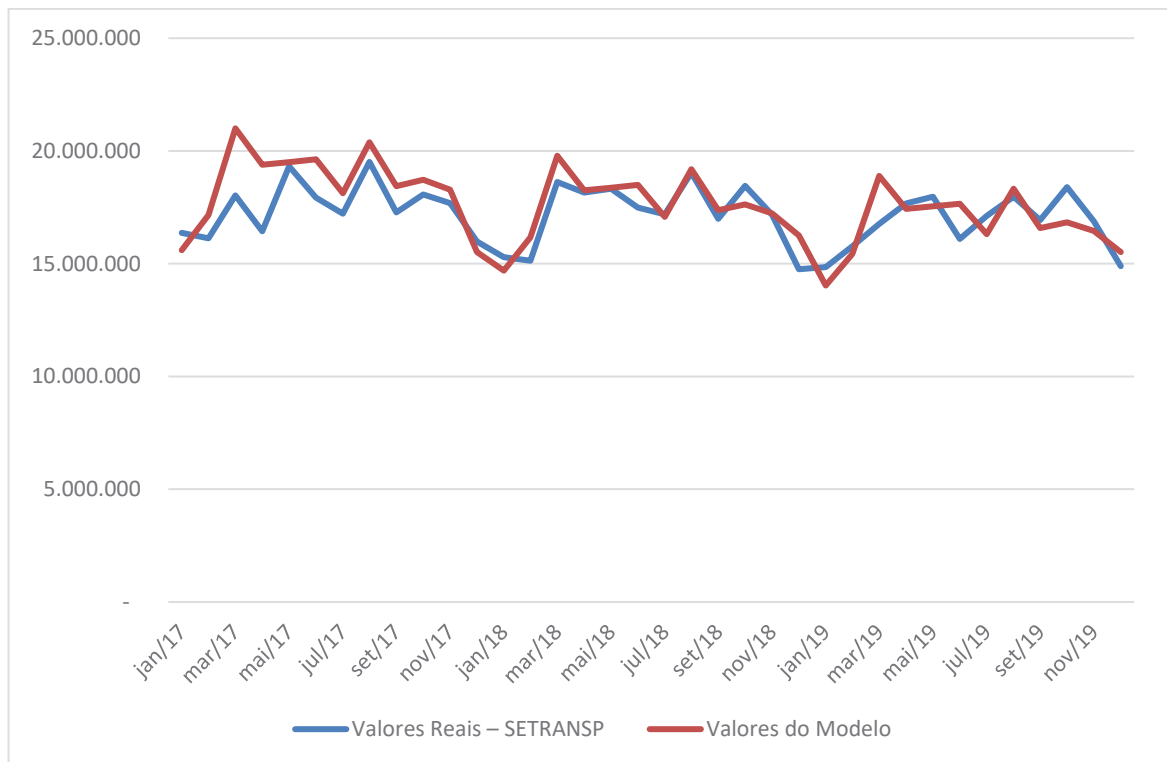
	Quantidade de Passageiros		Resíduos			
	Valores Reais – SETRANSP		Valores do Modelo 2019	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
	Inicial 2016	2019				
Janeiro	16.319.426	14.856.744	14.035.499	-821.245	-5,53%	5,53%
Fevereiro	17.946.614	15.778.791	15.434.958	-343.833	-2,18%	2,18%
Março	21.961.804	16.760.197	18.888.222	2.128.025	12,70%	12,70%
Abril	20.274.557	17.675.144	17.437.100	-238.044	-1,35%	1,35%
Mai	20.399.927	17.973.390	17.544.930	-428.460	-2,38%	2,38%
Junho	20.531.436	16.093.194	17.658.036	1.564.842	9,72%	9,72%
Julho	18.960.733	17.118.265	16.307.152	-811.113	-4,74%	4,74%
Agosto	21.312.265	17.976.695	18.329.584	352.889	1,96%	1,96%
Setembro	19.287.372	16.940.423	16.588.076	-352.347	-2,08%	2,08%
Outubro	19.581.542	18.395.941	16.841.074	-1.554.867	-8,45%	8,45%
Novembro	19.125.400	16.883.935	16.448.771	-435.164	-2,58%	2,58%
Dezembro	18.050.040	14.892.086	15.523.912	631.826	4,24%	4,24%
			Média	-25.624	-0,05%	4,83%

FONTE: O autor (2020)

A TABELA 11 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a quantidade de passageiros utilizados no modelo em 2016, na coluna 2 os valores

estimados pelo modelo para o ano de 2019. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real de 2019, e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 11 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, ou seja, o modelo erra tanto para cima quanto pra baixo. Já a média percentual absoluta é de 4,83%, ou seja, em média o modelo erra 4,83% para cima ou para baixo.

GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA PERÍODO 2017-2019



FONTE: O autor (2020)

A TABELA 12 mostra na primeira coluna os valores iniciais referentes a quantidade de passageiros utilizados no modelo em 2016, na coluna 2 os valores estimados pelo modelo para entre os anos de 2017 e 2019. Na coluna 3 são calculados os resíduos entre o valor real e o estimado, na coluna 4 estes resíduos são apresentados em [%] em relação ao valor real e na coluna 5 é mostrado o valor absoluto dos desvios percentuais. A última linha da TABELA 12 mostra as médias dos resíduos, em primeiro lugar verifica-se que a média do resíduo percentual é muito próxima de zero, isso mostra a ausência de viés do modelo, ou seja, o modelo erra

tanto para cima quanto pra baixo. Já a média percentual absoluta é de 5,07%, ou seja, em média o modelo erra 5,07% para cima ou para baixo.

TABELA 12 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA PERÍODO 2017-2019

(continua)

	Quantidade de Passageiros		Resíduos			
	Valores Reais – SETRANSP		Valores do Modelo	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
	Inicial 2016					
jan/17	16.319.426	16.366.221	15.606.582	- 759.639	-4,64%	4,64%
fev/17	17.946.614	16.122.701	17.162.694	1.039.993	6,45%	6,45%
mar/17	21.961.804	18.035.049	21.002.496	2.967.447	16,45%	16,45%
abr/17	20.274.557	16.433.591	19.388.946	2.955.355	17,98%	17,98%
mai/17	20.399.927	19.318.287	19.508.848	190.561	0,99%	0,99%
jun/17	20.531.436	17.924.628	19.634.612	1.709.984	9,54%	9,54%
jul/17	18.960.733	17.220.323	18.132.516	912.193	5,30%	5,30%
ago/17	21.312.265	19.515.144	20.381.328	866.184	4,44%	4,44%
set/17	19.287.372	17.274.453	18.444.884	1.170.431	6,78%	6,78%
out/17	19.581.542	18.070.420	18.726.208	655.788	3,63%	3,63%
nov/17	19.125.400	17.692.036	18.289.988	597.952	3,38%	3,38%
dez/17	18.050.040	15.980.520	15.523.912	- 456.608	-2,86%	2,86%
jan/18		15863	14.699.442	- 584.357	-3,82%	3,82%
fev/18		15.137.664	16.165.101	1.027.437	6,79%	6,79%
mar/18		18.630.536	19.781.716	1.151.180	6,18%	6,18%
abr/18		18.150.984	18.261.954	110.970	0,61%	0,61%
mai/18		18.322.734	18.374.886	52.152	0,28%	0,28%
jun/18		17.488.156	18.493.342	1.005.186	5,75%	5,75%
jul/18		17.184.408	17.078.552	- 105.856	-0,62%	0,62%
ago/18		19.034.307	19.196.652	162.345	0,85%	0,85%
set/18		16.988.053	17.372.764	384.711	2,26%	2,26%
out/18		18.454.558	17.637.734	- 816.824	-4,43%	4,43%
nov/18		17.179.441	17.226.872	47.431	0,28%	0,28%
dez/18		14.756.472	16.258.263	1.501.791	10,18%	10,18%
jan/19		14.856.744	14.035.499	- 821.245	-5,53%	5,53%
fev/19		15.778.791	15.434.958	- 343.833	-2,18%	2,18%
mar/19		16.760.197	18.888.222	2.128.025	12,70%	12,70%
abr/19		17.675.144	17.437.100	- 238.044	-1,35%	1,35%
mai/19		17.973.390	17.544.930	- 428.460	-2,38%	2,38%
jun/19		16.093.194	17.658.036	1.564.842	9,72%	9,72%
jul/19		17.118.265	16.307.152	- 811.113	-4,74%	4,74%
ago/19		17.976.695	18.329.584	352.889	1,96%	1,96%

TABELA 12 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA PERÍODO 2017-2019
(concluído)

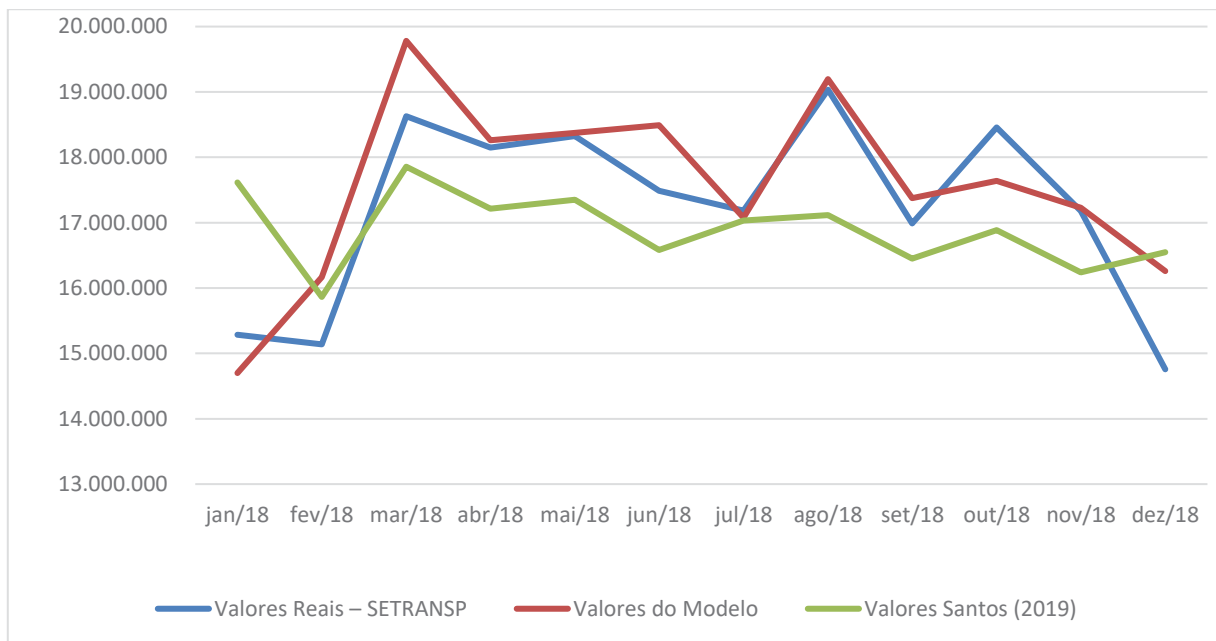
	Quantidade de Passageiros		Resíduos			
	Valores Reais – SETRANSP		Valores do Modelo	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
	Inicial 2016					
set/19	19.287.372	16.940.423	16.588.076	- 352.347	-2,08%	2,08%
out/19	19.581.542	18.395.941	16.841.074	- 1.554.867	-8,45%	8,45%
nov/19	19.125.400	16.883.935	16.448.771	- 435.164	-2,58%	2,58%
dez/19	18.050.040	14.892.086	15.523.912	631.826	4,24%	4,24%
			Média	429.953	2,53%	5,07%

FONTE: O autor (2020)

Para efeito de validação também foram comparados os valores com a dissertação de Santos (2019), onde ele por meio de previsões de séries temporais estimou a quantidade de passageiros transportados no município de Curitiba para o ano de 2018.

O GRÁFICO 13 e a TABELA 13 mostram a comparação entre os resultados obtidos como modelo desenvolvido através da DS e o modelo de séries temporais apresentado por Santos (2019), onde pode-se verificar que os dois modelos encontram resultados médios próximos, sendo que por séries temporais o resíduo médio é um pouco melhor, devido a maior estabilidade -1,31% contra 2,03%, entretanto aos se analisarem individualmente os valores mensais, percebe-se que o modelo de Santos (2019), possui grandes diferenças nos meses de janeiro e dezembro, o que impacta diretamente no valor médio, esta alteração pode ser verificada quando se analisa o resíduo absoluto que por meio da DS o resíduo é de 3,50% contra 6,67%, pois o modelo DS acompanha as variações reais.

GRÁFICO 13– COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2018



FONTE: O autor (2020)

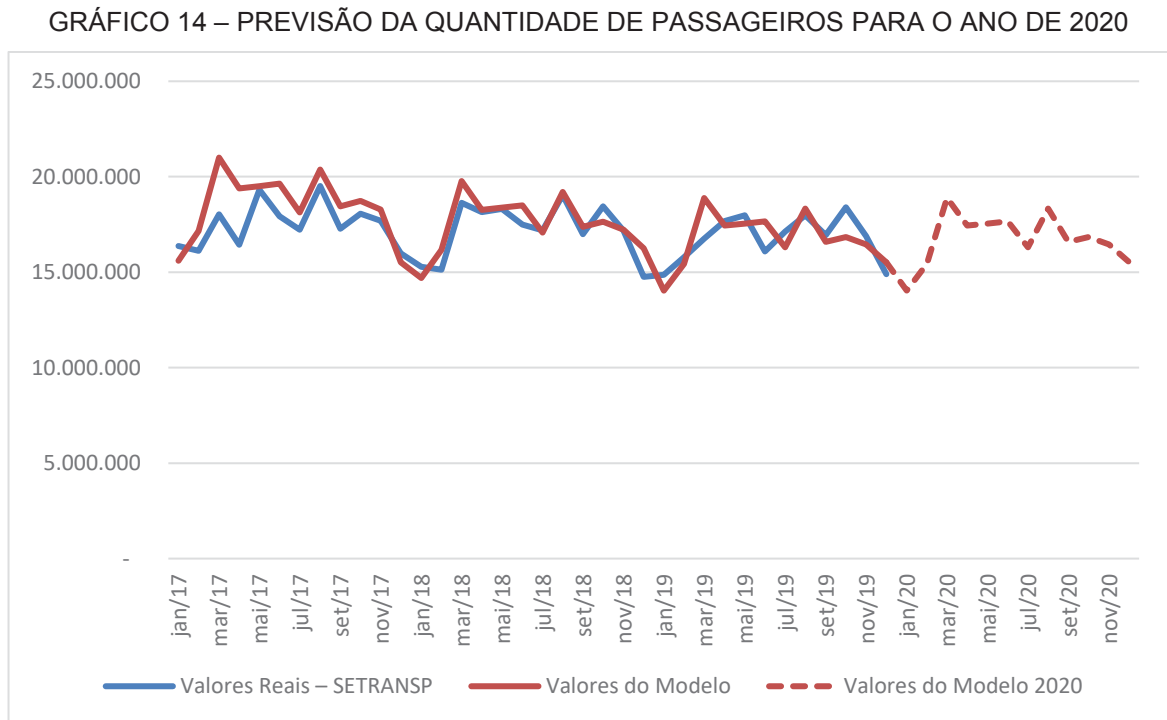
TABELA 13 – COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PARA O ANO DE 2018

	Quantidade de Passageiros			Resíduos Santos (2019)			Resíduos Modelo		
	Valores Reais – SETRANSP	Valores Santos (2019)	Valores do Modelo	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)	Modelo – Real (2019)	%	Abs(%)
jan/18	15.283.799	17.617.042	14.699.442	2.333.243	15,27%	15,27%	- 584.357	-3,82%	3,82%
fev/18	15.137.664	15.863.674	16.165.101	726.010	4,80%	4,80%	1.027.437	6,79%	6,79%
mar/18	18.630.536	17.856.051	19.781.716	774.485	-4,16%	4,16%	1.151.180	6,18%	6,18%
abr/18	18.150.984	17.212.087	18.261.954	938.897	-5,17%	5,17%	110.970	0,61%	0,61%
mai/18	18.322.734	17.350.346	18.374.886	972.388	-5,31%	5,31%	52.152	0,28%	0,28%
jun/18	17.488.156	16.583.963	18.493.342	904.193	-5,17%	5,17%	1.005.186	5,75%	5,75%
jul/18	17.184.408	17.030.113	17.078.552	154.295	-0,90%	0,90%	- 105.856	-0,62%	0,62%
ago/18	19.034.307	17.113.932	19.196.652	1.920.375	10,09%	10,09%	162.345	0,85%	0,85%
set/18	16.988.053	16.451.303	17.372.764	536.750	-3,16%	3,16%	384.711	2,26%	2,26%
out/18	18.454.558	16.887.806	17.637.734	1.566.752	-8,49%	8,49%	- 816.824	-4,43%	4,43%
nov/18	17.179.441	16.241.206	17.226.872	938.235	-5,46%	5,46%	47.431	0,28%	0,28%
dez/18	14.756.472	16.546.887	16.258.263	1.790.415	12,13%	12,13%	1.501.791	10,18%	10,18%
			Média	-321.392	-1,31%	6,67%	328.014	2,03%	3,50%

FONTE: O autor (2020)

Utilizando o modelo, foi realizada a previsão da quantidade de passageiros para o ano de 2020, dando continuidade ao modelo. O GRÁFICO 14 mostra os valores reais e calculados pelo modelo de 2017 a 2019 e uma previsão de valores para o ano

de 2020, por meio do gráfico, pode-se observar que a previsão para o ano de 2020 acompanha a sazonalidade existente nos anos anteriores. A TABELA 14 mostra os resultados previstos pelo modelo para o ano de 2020.



FONTE: O autor (2020)

TABELA 14 –QUANTIDADE DE PASSAGEIROS PREVISTOS PARA O ANO DE 2020

	Quantidade de Passageiros	
	Valores Reais – SETRANS	Valores do Modelo
	Inicial 2016	2020
Janeiro	16.319.426	14.038.888
Fevereiro	17.946.614	15.438.684
Março	21.961.804	18.892.786
Abril	20.274.557	17.441.310
Mai	20.399.927	17.549.166
Junho	20.531.436	17.662.296
Julho	18.960.733	16.311.090
Agosto	21.312.265	18.334.008
Setembro	19.287.372	16.592.081
Outubro	19.581.542	16.845.140
Novembro	19.125.400	16.452.744
Dezembro	18.050.040	15.527.660

FONTE: O autor (2020)

5 CONCLUSÕES

A proposta de desenvolver um modelo para a análise da quantidade de passageiros transportados por ônibus é desafiadora e estimulante, primeiramente este é um tema de grande importância para a sociedade, em seguida pela dificuldade em encontrar bibliografia específica, o que torna difícil a comparação e análise.

A utilização da Dinâmica de Sistemas na modelagem revela-se uma importante ferramenta para o desenvolvimento de um modelo para a análise da quantidade de passageiros, uma vez que a capacidade de análise e variação de cada variável isoladamente gera uma grande possibilidade de saídas e análises.

Dentro dos objetivos do trabalho, foi proposta a análise de um conjunto de variáveis envolvidas no sistema de transporte urbano público de Curitiba, de forma a compreender o fenômeno da quantidade de passageiros.

Para se fazer esta análise, de acordo com os trabalhos encontrados e com percepções empíricas utilizou-se um conjunto de variáveis independentes, que evoluíram para o modelo validado.

Com a utilização das quatro classes de variáveis - Quantitativas do Sistema de Transporte, Financeiras do Sistema de Transporte, Socioeconômicas e de Mobilidade -, foi desenvolvido um modelo de diagrama causal mostrando as relações entre elas.

Desta forma com o modelo inicialmente proposto, foram verificadas a importância e a disponibilidade de dados para cada uma das variáveis, para o município de Curitiba, tendo-se definido um conjunto de variáveis que geraram quatro subsistemas: veículos de passeio, nível de atividade econômica, preço da passagem e alunos matriculados.

Cada um dos subsistemas foi validado com as variáveis relacionadas para o ano de 2017. Para o subsistema veículos de passeio, foram utilizadas as variáveis: automóveis e motocicletas, e o resíduo médio para o modelo de 0,2%. Para o subsistema nível de atividade econômica, foram utilizadas as variáveis: admissões e demissões, e o resíduo médio para o modelo de 0,25%, Para os subsistema preço da passagem, foi considerada a variável: preço da passagem, para esta situação específica foi encontrado um viés que foi o congelamento da tarifa no ano de 2017, o que gerou um resíduo maior de 5,91%. Para o subsistema alunos matriculados foram

consideradas as variáveis: matrículas das redes estadual, municipal e privada, e o resíduo médio do modelo foi de 0,04%.

Após esta validação dos subsistemas feita para o ano de 2017, foi feito o modelo do sistema e validado para a quantidade de passageiros esperada. Para confirmar a efetividade do modelo foi feita a projeção para um período de 36 meses. Para a execução da simulação, foram projetados os valores para os anos de 2017, 2018 e 2019, com base nos dados de 2013 a 2016.

A utilização do software Vensim PLE[®] permitiu a simulação do modelo e a verificação do peso de cada um dos subsistemas e da variável externa veículos de aluguel, esta variável inserida pelo início da operação dos aplicativos de transporte em 2017.

Os resultados obtidos e demonstrados no trabalho, mostram que o modelo simulado para o período 2017, 2018 e 2019, é validado pelo resultado das médias de resíduos para o ano de 2019 de 0,05%, conforme TABELA 11 e para o período total de 2017 a 2019 com uma média de resíduos de 2,53%, conforme TABELA 12.

Conclui-se que a metodologia da Dinâmica de Sistemas apresenta-se apropriada para a análise do sistema de transporte urbano público de Curitiba, permitindo a compreensão do fenômeno da quantidade de passageiros nele existente.

Esta conclusão pode ser afetada por fatores externos que não estão contemplados neste estudo, como decisões políticas e sociais. Caso ocorram fatores não previstos pode ocorrer um viés no modelo.

Por fim pode-se compreender a partir do modelo inicialmente desenvolvido, a correlação entre as variáveis propostas, o que fica demonstrado nos resultados obtidos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A análise da quantidade de passageiros do transporte público é um tema que sempre terá impacto. Por isso para futuros trabalhos, recomenda-se analisar o modelo proposto e analisar formas de implementação que permitam o uso de outras variáveis.

O uso da metodologia da Dinâmica de Sistemas permite, além da análise de dados existentes, a previsão para períodos futuros. Estas previsões podem permitir

estudos técnicos que embasem decisões políticas que incentivem o aumento do uso do transporte público urbano.

Para aperfeiçoamento do modelo podem ser introduzidas algumas das variáveis inicialmente propostas, mas que por falta de dados consistentes foram retiradas, tais como tempo de trajeto e tempo de espera. Também podem ser analisadas variáveis qualitativas do sistema, como conforto e lotação.

O surgimento de novos modais de mobilidade urbana, como os serviços prestados por aplicativos, compartilhamento de veículos, bicicletas e patinetes, podem impactar diretamente na quantidade de passageiros e deverão ser analisados com o surgimento de dados históricos.

Um desafio para o modelo seria a validação por meio da análise comparativa entre diversos municípios em que o modal rodoviário seja predominante.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, K. A.; BELL, M. G. H. System dynamics applicability to transportation modeling. **Transportation Research Part A**, v. 28, n. 5, p. 373–390, 1994.
- ANDERSEN, D.; RICHARDSON, G.; FORRESTER, J. W.; et al. A Review of System Dynamics Models of Educational Policy Issues. **System Dynamics Review**, v. 22, n. 2, p. 501–531, 1997.
- ANDERSON, V.; JOHNSON, L. **Systems thinking basics: from concepts to causal loops**. Waltham, MA, USA: Pegasus, 1997.
- ANGERHOFER, B. J.; ANGELIDES, M. C. System Dynamics Modelling in supply chain management: Research review. **Winter Simulation Conference Proceedings**, v. 1, p. 342–351, 2000.
- ARAÚJO, A. C. M. DE; GOUVEIA, L. B. Uma revisão sobre os princípios da teoria geral dos sistemas. **Estação Científica**, , n. 16, p. 1–14, 2016.
- ASPLUND, D.; PYDDOKE, R. Research in Transportation Economics Optimal fares and frequencies for bus services in a small city. **Research in Transportation Economics**, , n. March, p. 100796, 2019. Elsevier Ltd.
- ASSOCIATION, A. P. T. **Economic impact of public transportation investment**. 2020.
- BAJRACHARYA, A. Private car and public transportation : dynamics of the modal share. **Urban Transport**, v. XIX, p. 365–372, 2013.
- BARLAS, Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. **System Dynamics Review**, v. 12, n. 3, p. 183–210, 1996.
- BEIRÃO, G.; CABRAL, J. A. S. Understanding attitudes towards public transport and private car : A qualitative study. **Transport Policy**, v. 14, p. 478–489, 2007.
- BENVENUTTI, L. M.; URIONA-MALDONADO, M.; CAMPOS, L. M. S. The impact of CO2 mitigation policies on light vehicle fleet in Brazil. **Energy Policy**, v. 126, n. April 2018, p. 370–379, 2019. Elsevier Ltd.
- BERTALANFFY, L. VON. General Systems Theory and Psychiatry - An Overview. In: W. Gray (Ed.); **General Systems Theory and Psychiatry**. p.481, 1969. Boston: Littel, Brown and Company.
- BURGDORF, C.; EISENKOPF, A. Effects of road tolls for intercity buses on travel activities and the choice of means of transport in German long-distance passenger transport. **Research in Transportation Economics**, v. 72, n. May, p. 92–105, 2018. Elsevier Ltd.
- CANITEZ, F.; ALPKOKIN, P.; BLACK, J. A. Agency costs in public transport systems: Net-cost contracting between the transport authority and private operators - impact on

passengers. **Cities**, v. 86, n. September 2018, p. 154–166, 2019. Elsevier.

CARVALHO, C. H. R. DE;; PEREIRA, R. H. M. Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil. **Texto para Discussão, No. 1595, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2011.

CHEN, L. L.; TSENG, C. H.; TSENG, W. J. Development of a system dynamics model for polycyclic aromatic hydrocarbons and its application to assess the benefits of pollution reduction. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 166, n. July, p. 231–236, 2018. Elsevier Inc.

COYLE, R. G. **System dynamics modelling: a practical approach**. London: Chapman & Hall, 1996.

DANGERFIELD, B. C. System dynamics applications to european health care issues. **Journal of the Operational Research Society**, v. 50, n. 4, p. 345–353, 1999.

DONG, J.; XU, Y.; HWANG, B. GANG; REN, R.; CHEN, Z. The impact of underground logistics system on urban sustainable development: A system dynamics approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 5, 2019.

DULEBA, S.; MOSLEM, S. Examining Pareto optimality in analytic hierarchy process on real Data: An application in public transport service development. **Expert Systems with Applications**, v. 116, p. 21–30, 2019. Elsevier Ltd.

EBERLEIN, R. L.; PETERSON, D. W.; SYSTEMS, V.; ROAD, J. G. Understanding models with Custom Globals Windows. **European Journal of Operational Research**, v. 59, p. 216–219, 1992.

ESTATÍSTICA, I. B. D. G. E. Censo de 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. .

FERNANDES, A. C. Dinâmica De Sistemas E Business Dynamics : Tratando a Complexidade No Ambiente De Negócios. **XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2001.

FIORAVANTI, R. D.; LIMA JUNIOR, O. F. Modelo para análise ex ante de políticas de logística urbana baseadas em centros de distribuição urbanos: uma abordagem utilizando dinâmica de sistemas. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, n. 0, p. 1–22, 2019.

FONTOURA, W. B.; CHAVES, G. DE L. D.; RIBEIRO, G. M. The Brazilian Urban Mobility Policy: The Impact In São Paulo Transport System Using System Dynamics. **Transport Policy**, v. 73, n. April 2017, p. 51–61, 2018. Elsevier Ltd.

FORRESTER, J. W. **Principles of systems**. Waltham, MA, USA: Pegasus, 1968.

FORRESTER, J. W. System Dynamics and K-12 Teachers. **University of Virginia School of Education**, 1996.

FORRESTER, J. W. Designing the Future by Designing the Future. Universidad de Sevilla Sevilla. **Anais...** . p.1–11, 1998. Sevilla: Universidad de Sevilla Sevilla.

GHARAJEDAGHI, J. **Systems thinking: managing chaos and complexity: a platform for designing business architecture**. Boston: Butterworth Heinemann, 1999.

GKIOTSALITIS, K.; WU, Z.; CATS, O. A cost-minimization model for bus fleet allocation featuring the tactical generation of short-turning and interlining options. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 98, n. June 2018, p. 14–36, 2019.

GONZÁLEZ, G. G. Jay W . Forrester : pionero de la computación digital y dinámica de sistemas Tecno Historia. **Prisma Tecnológico**, v. 7, p. 39–40, 2016.

GOODMAN, M. R. **Study Notes in System Dynamics**. Waltham, Mass: Pegasus Communications, 1989.

GUPTA, M.; BANDYOPADHYAY, K. R.; SINGH, S. K. Measuring effectiveness of carbon tax on INDIAN road passenger transport: A system dynamics approach. **Energy Economics**, 2019. Elsevier B.V.

HOPKINS, P. L. Simulating hamlet in the classroom. **System Dynamics Review**, v. 8, n. 1, p. 91–98, 1992.

INGVARDSON, J. B.; NIELSEN, O. A. How urban density , network topology and socio-economy in fl uence public transport ridership : Empirical evidence from 48 European metropolitan areas. **Journal of Transport Geography**, v. 72, n. November 2017, p. 50–63, 2018. Elsevier.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA - IPPUC. **Plano Diretor de Curitiba: mobilidade urbana e transporte integrado – Análise de desempenho, 1970 a 2009**. 2010.

KENNEDY, M. A Taxonomy of System Dynamics Models of Educational Pedagogic Issues. **Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society**, 2011.

KIM, D. H. **Systems thinking tools: a user's reference guide**. Waltham, MA, USA: Pegasus, 1994.

LITMAN, T. Transportation Elasticities. **Victoria Transport Policy Institute**, 2007.

LIU, S.; TRIANTIS, K. P.; SARANGI, S. A framework for evaluating the dynamic impacts of a congestion pricing policy for a transportation socioeconomic system. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, n. 8, p. 596–608, 2010. Elsevier Ltd.

LYNEIS, J. M.; FORD, D. N. System dynamics applied to project management : a

survey, assessment, and directions for future research. **System Dynamics Review**, v. 23, p. 157–189, 2007.

MAANI, K.; CAVANA, R. Y. **Systems thinking and modelling : understanding change and complexity**. Auckland, N.Z: Prentice Hall, 2000.

MEADOWS, D. H. **Thinking in Systems**. 1st ed. London: Earthscan, 2009.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS ILL, W. W. The limits to growth. , p. 205, 1972.

MITCHELL, M.; NEWMAN, M. Complex systems theory and evolution. **Encyclopedia of Evolution**, p. 1–5, 2002.

MORIYA, K. System dynamics. **Field Informatics: Kyoto University Field Informatics Research Group**. p.73–88, 2012. Springer Berlin Heidelberg.

RICHARDSON, G. P.; PUGH III, A. L. **Introduction to system dynamics modeling with dynamo**. Cambridge: The MIT Press, 1981.

SANTOS, R. S. DOS. **Análise da variação de passageiros no sistema de transporte público de Curitiba : projeção de valores e identificação de fatores de influência**Society, 2019. Universidade Federal do Paraná.

SASTRY, M. A.; STERMAN, J. D. Desert Island Dynamics: An Annotated Survey of the Essential System Dynamics Literature. Proceedings of the 1993 International System Dynamics Conference. **Anais...** . p.466–475, 1993. Cancun: E. Zepeda & J. Machuca.

SCARPIN, C. T.; SILVA, A. C. L. DA. Projeções sobre o número de passageiros pagantes equivalentes na rede de transporte público coletivo no Município de Curitiba para o ano tarifário de março de 2016 a fevereiro de 2017. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 145, 2017.

SEDARATI, P.; SANTOS, S.; PINTASSILGO, P. System Dynamics in Tourism Planning and Development. **Tourism Planning & Development**, v. 8316, 2019. Taylor & Francis.

SENGE, P. M.; STERMAN, J. D. Systems thinking and organizational learning : Acting locally and thinking globally in the organization of the future. **European Journal of Operational Research**, v. 59, p. 137–150, 1992.

SHAH, Y.; MANAUGH, K.; BADAMI, M.; EL-GENEIDY, A. Diagnosing Transportation. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2357, n. 1, p. 1–12, 2013.

SHEPHERD, S. P. A review of system dynamics models applied in transportation. **Transportmetrica B: Transport Dynamics**, v. 2, n. 2, p. 83–105, 2014.

SHEPHERD, S.; PFAFFENBICHLER, P.; BIELEFELDT, C. Analysing the causes of

long-distance travel in Europe—a system dynamics approach. **Transportmetrica B**, v. 0566, 2019.

SILVA, A. N. R. DA; AZEVEDO FILHO, M. A. N. DE; MACÊDO, M. H.; et al. A comparative evaluation of mobility conditions in selected cities of the five Brazilian regions. **Transport Policy**, v. 37, p. 147–156, 2015.

SILVA, T. R. DA; SAALMANN, P.; CORDES, A. K.; et al. Integration architecture of intelligent maintenance systems and spare parts supply chain planning. *Procedia CIRP*. **Anais...** . C ed., v. 25, p.192–198, 2014.

SILVEIRA, M. R.; COCCO, R. G. Transporte público, mobilidade e planejamento urbano: Contradições essenciais. **Estudos Avancados**, v. 27, n. 79, p. 41–53, 2013

SMIESZEK, M.; DOBRZANSKA, M.; DOBRZANSKI, P. Rzeszow as a city taking steps towards developing sustainable public transport. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019.

STEPHENS, C. A.; GRAHAM, A. K.; LYNEIS, J. M. System dynamics modeling in the legal arena: Meeting the challenges of expert witness admissibility. **System Dynamics Review**, v. 21, n. 2, p. 95–122, 2005.

STERMAN, J. D. **Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. 1st ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000.

VASCONCELLOS, E. A. Urban transport policies in Brazil: The creation of a discriminatory mobility system. **Journal of Transport Geography**, v. 67, n. September 2017, p. 85–91, 2018.

VIGREN, A.; PYDDOKE, R. The impact on bus ridership of passenger incentive contracts in public transport. **Transportation Research Part A**, v. 135, n. March 2019, p. 144–159, 2020. Elsevier.

VILLELA, P. R. C. Introdução à Dinâmica de sistemas. **Universidade Federal De Juiz De Fora Faculdade De Engenharia Introdução À Dinâmica De Sistemas**, , n. 32, 2005.

WANG, H.; ZHANG, K.; CHEN, J.; et al. System dynamics model of taxi management in metropolises: Economic and environmental implications for Beijing. **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 555–565, 2018. Elsevier Ltd.

ZHOU, X.; ZHAO, R.; CHENG, L.; MIN, X. Impact of policy incentives on electric vehicles development: a system dynamics - based evolutionary game theoretical analysis. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 5, p. 1039–1053, 2019. Springer Berlin Heidelberg.

APÊNDICE 1 – DADOS PARA INICIALIZAÇÃO DO MODELO

Nas tabelas abaixo são apresentados os dados utilizados para a inicialização do modelo.

A) Quantidade de Veículos

Foram utilizados os dados de veículos cadastrados pelo DETRAN-PR¹. Com estes dados foram calculadas as variações mensais e a média para o período entre 2013 e 2016, conforme TABELA 15.

TABELA 15 – QUANTIDADE DE VEICULOS DE PASSEIO 2013 A 2016

(continua)

	Automóveis	Variação Mensal	Motocicletas	Variação Mensal
Mês	Unidades		Unidades	
janeiro-13	915.191		119.395	
fevereiro-13	915.801	0,067%	119.592	0,165%
março-13	918.829	0,331%	119.863	0,227%
abril-13	921.301	0,269%	119.892	0,024%
maio-13	923.890	0,281%	120.116	0,187%
junho-13	927.784	0,421%	120.285	0,141%
julho-13	930.112	0,251%	120.416	0,109%
agosto-13	932.496	0,256%	120.403	-0,011%
setembro-13	935.262	0,297%	120.454	0,042%
outubro-13	936.519	0,134%	120.519	0,054%
novembro-13	939.414	0,309%	120.827	0,256%
dezembro-13	942.154	0,292%	120.766	-0,050%
janeiro-14	945.113	0,314%	120.988	0,184%
fevereiro-14	945.566	0,048%	121.133	0,120%
março-14	948.355	0,295%	121.397	0,218%
abril-14	951.186	0,299%	121.692	0,243%
maio-14	956.026	0,509%	121.719	0,022%
junho-14	958.428	0,251%	121.674	-0,037%
julho-14	960.165	0,181%	121.803	0,106%
agosto-14	964.498	0,451%	121.856	0,044%
setembro-14	967.872	0,350%	122.056	0,164%
outubro-14	970.176	0,238%	122.177	0,099%
novembro-14	973.850	0,379%	122.131	-0,038%

TABELA 3 – QUANTIDADE DE VEICULOS DE PASSEIO 2013 A 2016

(concluído)

	Automóveis	Variação Mensal	Motocicletas	Variação Mensal
Mês	Unidades		Unidades	
dezembro-14	978.854	0,514%	122.111	-0,016%
janeiro-15	980.231	0,141%	122.339	0,187%
fevereiro-15	979.689	-0,055%	122.464	0,102%
março-15	981.968	0,233%	122.669	0,167%
abril-15	981.464	-0,051%	122.772	0,084%
maio-15	982.097	0,064%	122.942	0,138%
junho-15	980.753	-0,137%	122.927	-0,012%
julho-15	980.146	-0,062%	123.070	0,116%
agosto-15	980.562	0,042%	123.108	0,031%
setembro-15	979.957	-0,062%	123.281	0,141%
outubro-15	981.314	0,138%	123.421	0,114%
novembro-15	980.980	-0,034%	123.477	0,045%
dezembro-15	980.383	-0,061%	123.489	0,010%
janeiro-16	979.163	-0,124%	123.573	0,068%
fevereiro-16	978.038	-0,115%	123.539	-0,028%
março-16	979.117	0,110%	123.747	0,168%
abril-16	977.996	-0,114%	123.963	0,175%
maio-16	976.720	-0,130%	123.940	-0,019%
junho-16	976.737	0,002%	123.979	0,031%
julho-16	975.233	-0,154%	123.874	-0,085%
agosto-16	973.689	-0,158%	123.918	0,036%
setembro-16	975.233	0,159%	123.874	-0,036%
outubro-16	970.806	-0,454%	123.972	0,079%
novembro-16	968.857	-0,201%	124.143	0,138%
dezembro-16	967.778	-0,111%	124.306	0,131%
	Média	0,119%	Média	0,086%

FONTE: O autor (2019)

B) Empregos

Para a quantidade de admissões e demissões foram utilizadas as informações do Ministério do Trabalho – CAGED.

A quantidade de trabalhadores empregados para dezembro de 2016 foi calculada utilizando-se os dados do IBGE de 2016 para o município de Curitiba:

- População: 1.893.997
- População Ocupada: 53,1%

Com isso foi a quantidade de trabalhadores empregados em dezembro de 2016 de 1.005.712.

Com estes dados foram calculadas as variações mensais e a média de admissões e demissões, utilizando-se:

$$Empregos_n = Empregos_{n+1} - Admissões_n + Demissões_n$$

$$Variação\ Mensal\ Admissões = \frac{Admissões}{Empregos}$$

$$Variação\ Mensal\ Demissões = \frac{Demissões}{Empregos}$$

Onde n é o mês atual.

Com estes valores obteve-se a TABELA 16:

TABELA 16 – QUANTIDADE DE EMPREGOS 2013 A 2016

(continua)

	Empregados	Admissões	Variação Mensal	Demissões	Variação Mensal
Mês	Pessoas	Pessoas		Pessoas	
janeiro-13	1.046.299	39.971	3,820%	38.180	3,649%
fevereiro-13	1.049.953	41.226	3,926%	37.572	3,578%
março-13	1.053.356	41.448	3,935%	38.045	3,612%
abril-13	1.057.294	42.878	4,055%	38.940	3,683%
maio-13	1.059.154	40.088	3,785%	38.228	3,609%
junho-13	1.059.484	38.156	3,601%	37.826	3,570%
julho-13	1.057.940	38.836	3,671%	40.380	3,817%
agosto-13	1.058.984	39.872	3,765%	38.828	3,667%
setembro-13	1.063.510	39.423	3,707%	34.897	3,281%
outubro-13	1.064.059	38.859	3,652%	38.310	3,600%
novembro-13	1.064.669	34.949	3,283%	34.339	3,225%
dezembro-13	1.053.485	22.659	2,151%	33.843	3,212%
janeiro-14	1.055.498	37.875	3,588%	35.862	3,398%
fevereiro-14	1.063.210	45.607	4,290%	37.895	3,564%
março-14	1.062.798	38.836	3,654%	39.248	3,693%
abril-14	1.065.127	39.601	3,718%	37.272	3,499%
maio-14	1.067.310	39.314	3,683%	37.131	3,479%
junho-14	1.066.044	33.618	3,154%	34.884	3,272%
julho-14	1.065.368	37.465	3,517%	38.141	3,580%
agosto-14	1.067.356	37.569	3,520%	35.581	3,334%
setembro-14	1.070.311	36.761	3,435%	33.806	3,159%

TABELA 16 – QUANTIDADE DE EMPREGOS 2013 A 2016

(concluído)

	Empregados	Admissões	Varição Mensal	Demissões	Varição Mensal
Mês	Pessoas	Pessoas		Pessoas	
outubro-14	1.068.527	36.816	3,445%	38.600	3,612%
novembro-14	1.070.608	34.803	3,251%	32.722	3,056%
dezembro-14	1.058.566	23.715	2,240%	35.757	3,378%
janeiro-15	1.059.153	33.457	3,159%	32.870	3,103%
fevereiro-15	1.059.126	34.922	3,297%	34.949	3,300%
março-15	1.060.022	36.557	3,449%	35.661	3,364%
abril-15	1.057.798	30.053	2,841%	32.277	3,051%
maio-15	1.056.359	28.915	2,737%	30.354	2,873%
junho-15	1.052.769	27.967	2,657%	31.557	2,998%
julho-15	1.048.532	28.323	2,701%	32.560	3,105%
agosto-15	1.045.585	26.966	2,579%	29.913	2,861%
setembro-15	1.043.058	25.554	2,450%	28.081	2,692%
outubro-15	1.040.112	24.832	2,387%	27.778	2,671%
novembro-15	1.038.981	23.979	2,308%	25.110	2,417%
dezembro-15	1.026.727	17.657	1,720%	29.911	2,913%
janeiro-16	1.027.154	24.523	2,387%	24.096	2,346%
fevereiro-16	1.024.061	25.786	2,518%	28.879	2,820%
março-16	1.021.956	26.527	2,596%	28.632	2,802%
abril-16	1.020.636	24.189	2,370%	25.509	2,499%
maio-16	1.018.452	23.306	2,288%	25.490	2,503%
junho-16	1.015.540	22.815	2,247%	25.727	2,533%
julho-16	1.012.777	23.502	2,321%	26.265	2,593%
agosto-16	1.013.704	25.961	2,561%	25.034	2,470%
setembro-16	1.012.802	21.924	2,165%	22.826	2,254%
outubro-16	1.013.121	23.720	2,341%	23.401	2,310%
novembro-16	1.013.414	23.850	2,353%	23.557	2,325%
dezembro-16	1.005.712	18.602	1,850%	26.304	2,615%
		Média	3,023%	Média	3,103%

FONTE: O autor (2019)

C) Preço da Passagem

Foram utilizados os valores das passagens para o município de Curitiba. As variações destes ocorrem por decisões políticas e sem períodos definidos. Com estes dados foram calculadas as variações mensais e a média para o período entre 2013 e 2016.

Na tabela são apresentados somente os meses onde existiram variação no valor da tarifa. Para a média foram considerados os 48 meses do período. A TABELA 17, mostra os valores.

TABELA 17 – VALOR DA PASSAGEM DE 2013 A 2016

Mês	Valor da Tarifa R\$	Varição Mensal
janeiro-13	2,50	0,000%
março-13	2,85	14,000%
julho-13	2,70	-5,263%
novembro-14	2,85	5,556%
fevereiro-15	3,30	15,789%
junho-15	3,70	12,121%
fevereiro-16	4,25	14,865%
dezembro-16	4,25	0,000%
	Média	1,189%

FONTE: O autor (2019)

D) Quantidade de Estudantes Matriculados

Foi utilizada a quantidade de alunos matriculados segundo o IBGE. Com estes dados foram calculadas as taxas de crescimento médias mensais para o período entre 2013 e 2016.

Nas TABELAS 18 e 19 são apresentados somente os meses de janeiro, considerados como os meses em que ocorreram as matrículas. Para a média foram considerados os 48 meses do período.

TABELA 18 – QUANTIDADE DE MATRÍCULAS NAS REDES MUNICIPAL E ESTADUAL 2013 A 2016

	Rede Municipal	Varição Mensal	Rede Estadual	Varição Mensal
Mês	Matrículas		Matrículas	
janeiro-13	129.693	0,000%	136.283	0,000%
janeiro-14	130.203	0,393%	130.374	-4,336%
janeiro-15	128.910	-0,993%	125.954	-3,390%
janeiro-16	127.927	-0,763%	122.116	-3,047%
	Média	-0,034%	Média	-0,229%

FONTE: O autor (2019)

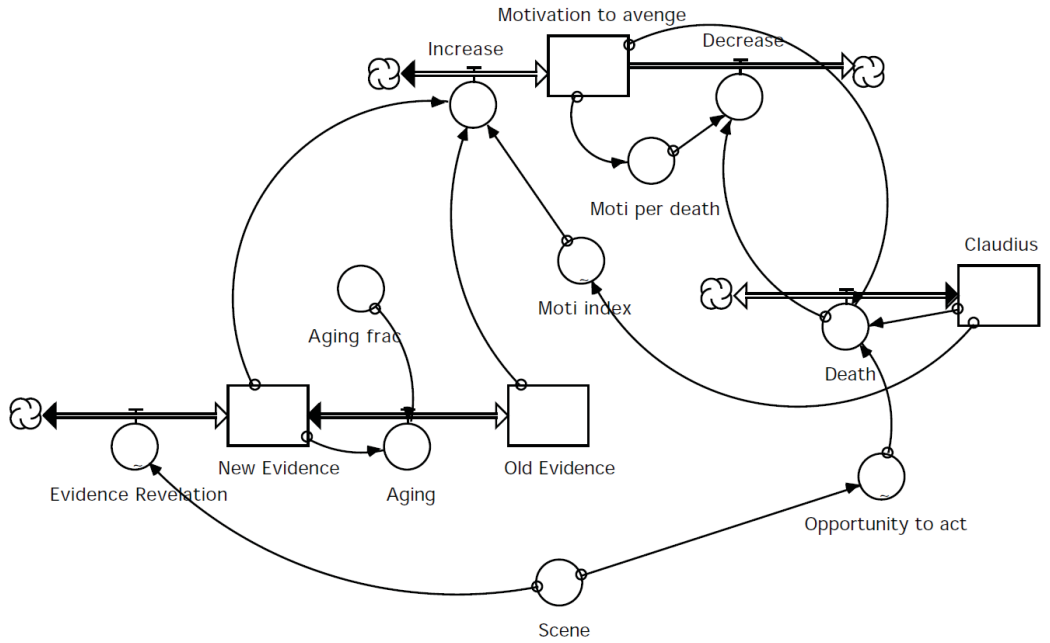
TABELA 19 – QUANTIDADE DE MATRÍCULAS NAS REDES MUNICIPAL E ESTADUAL 2013 A 2016

	Rede Federal	Varição Mensal	Rede Privada	Varição Mensal
Mês	Matrículas		Matrículas	
janeiro-13	2.685	0,000%	108.695	0,000%
janeiro-14	2.691	0,223%	111.948	2,993%
janeiro-15	2.514	-6,577%	114.176	1,990%
janeiro-16	2.633	4,733%	113.955	-0,194%
	Média	-0,034%	Média	0,102%

FONTE: O autor (2019)

ANEXO 1 – DIAGRAMA CAUSAL DA OBRA HAMLET

FIGURA 25 – DIAGRAMA CAUSAL DA OBRA HAMLET



FONTE: Hopkins (1992)