

## A Dinâmica de Sistemas e o Número de Passageiros no Transporte Público

Guilherme Lima Strozzi, José Eduardo Pécora Jr.

**Resumo:** Este artigo procura mostrar como o sistema municipal de transporte funciona e quais os seus relacionamentos. Por meio da metodologia da Dinâmica de Sistemas, um modelo de diagrama causal foi elaborado para demonstrar o número de pessoas transportadas através de diferentes modais. Para o uso desta metodologia foi estudada a literatura existente como base para a criação do modelo. Como resultado o presente modelo pode ser aplicado nos municípios para analisar o deslocamento de seus habitantes.

**Palavras chave:** Dinâmica de Sistemas, Transporte Público, Passageiros.

### The System Dynamics and The Number of Passengers in Public Transport

**Abstract:** This article aims to understand how the transportation system of a municipality works and its relationships. Through the use of the system dynamics methodology, a causal diagram model is presented for the analysis of the number of people transported by different modalities. For the use of this methodology the existing literature was studied to base the creation of this model. As a result, presents a model that can be applied in any municipality to analyze the displacement of its inhabitants.

**Key-words:** System Dynamics, Public Transport, Passengers

#### 1. Introdução

O transporte das pessoas nas cidades é um grande desafio, na maioria das cidades os diversos modais não interagem entre si. Este problema na maioria das vezes é tratado de maneira simples e política, sem levar em consideração as reais necessidades e anseios da população.

Neste trabalho será apresentado um modelo para a análise do relacionamento entre os diversos modais utilizadas pelos moradores das cidades. O objetivo deste modelo será demonstrar de forma simples os relacionamentos principais que podem ser aplicados em qualquer cidade brasileira, independente do seu tamanho. Através deste modelo poderão ser feitas análises de como a locomoção dos habitantes está sendo feita e como a administração pública poderá intervir para que ocorra a melhoria do deslocamento de seus moradores.

A metodologia a ser utilizada neste trabalho é a dinâmica de sistemas, que no caso estudado, por se tratar de um problema complexo, se enquadra perfeitamente. Através dela é possível

fazer a análise das relações individuais entre as variáveis e as consequências de suas oscilações em todo o sistema

Neste trabalho apresentamos inicialmente uma definição dos conceitos que serão utilizados e posteriormente a apresentação do modelo proposto.

## 2. Materiais e Métodos

### 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).

A metodologia da DS é baseada na junção de modelos qualitativos e quantitativos. Os modelos qualitativos mostram a relação entre os atores e seus relacionamentos através de diagramas de looping causais (DC). O desenvolvimento dos DC é parte do processo de criação do modelo e conecta os atores 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.

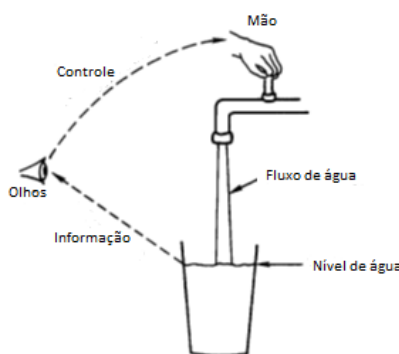


Figura 1 – Exemplo Prático de looping causal. (FORRESTER, 1996)

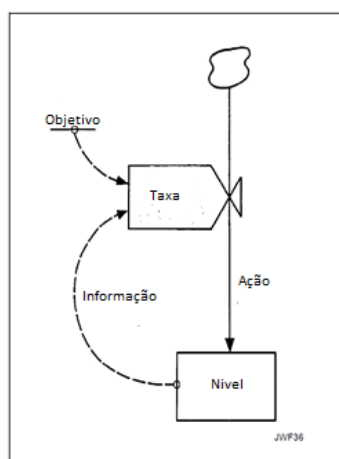


Figura 2 – Modelo de looping causal. (FORRESTER, 1996)

## 2.1. Utilização do Transporte Público

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 (CARVALHO; PEREIRA, 2011).

A quantidade de passageiros transportados segue este padrão, quando fatores como preço, tempo de deslocamento, desconforto, e riscos tendem a cair, a quantidade de passageiros tende a crescer (LITMAN, 2007).

## 2.2. A aplicação da dinâmica de sistemas nos transportes públicos

Na literatura foram encontrados vários exemplos de aplicações da DS, tais como aprendizagem em sala de aula, disputas legais, gerenciamento de projetos, saúde pública, entre outros. Para o problema de transporte público, são poucos os trabalhos existentes. (LIU et al., 2010).

Para o problema de transportes nos trabalhos encontrados 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.

Nos trabalhos mais específicos, pode-se observar os relacionamentos diretos entre a os fatores sociais e o uso que se faz dos transportes públicos, como o caso apresentado por (WANG et al., 2018) onde pode-se observar os fatores que levam os habitantes a utilizarem o sistema de taxi de Pequim, apresentando os principais atores e os relacionamentos entre eles. Já o trabalho de Fontoura et al. (2018) apresenta uma visão do sistema de transporte em São Paulo, mostrando as suas características e mostrando as peculiaridades de um sistema complexo, conforme mostra a Figura 3.

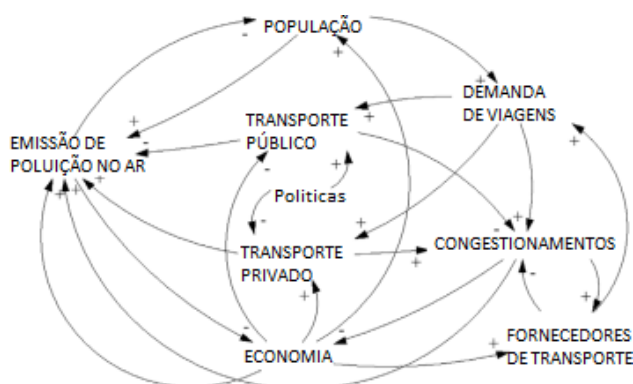


Figura 3 – DC para o modelo de transporte brasileiro. (FONTOURA 2018)

## 3. Modelo da Dinâmica de Sistemas

Neste trabalho será apresentado um modelo de DS a ser aplicado em um sistema de transporte coletivo municipal, abordando a quantidade de pessoas (PAX) transportadas, analisando os atores envolvidos e suas correlações.

### 3.1. Detalhamento do sistema de transporte público

O transporte público da grande maioria das cidades brasileiras é composto basicamente por quatro atores principais: ônibus, taxi, veículos particulares e bicicletas. Inicialmente podem ser geradas demandas contrárias entre eles, uma vez que o aumento de um pode resultar na diminuição de outro, entretanto com uma análise mais detalhada podemos ter demandas complementares entre os diversos modais.

A primeira análise a ser feita é verificar a atuação de cada um dos modais de forma independente, neste caso a relação entre eles é puramente direta e inversamente proporcional. Na Figura 4 temos a demonstração destes relacionamentos:

- 1) Quando a PAX transportada por veículos particulares aumenta a PAX transportada por ônibus diminui e vice-versa;
- 2) Quando a PAX transportada por taxi aumenta a PAX transportada por ônibus diminui e vice-versa;
- 3) Quando a PAX transportada por bicicletas aumenta a PAX transportada por ônibus diminui e vice-versa.

Após esta análise os atores foram considerados individualmente, para que se conseguisse uma análise mais concreta das variáveis que influenciam diretamente cada um deles.

Para a PAX transportada por ônibus, tem-se que fatores externos tem alta influencia na utilização deste modal pelos usuários, entre as principais variáveis externas podem ser citadas:

- 1) O valor da passagem, comumente definido pelo órgão regulador municipal, possui influencia inversamente proporcional;
- 2) O tempo de trajeto, verificado através de estudos de origem destino dos habitantes, influenciado diretamente pelo tempo de espera e inversamente pela velocidade média, possui influencia inversamente proporcional;
- 3) O nível da atividade econômica, para este cálculo, utilizou-se como indicador a diferença entre a quantidade de admissões e demissões no município no período, possui influencia diretamente proporcional.

A Figura 5 mostra o DC para este relacionamento.

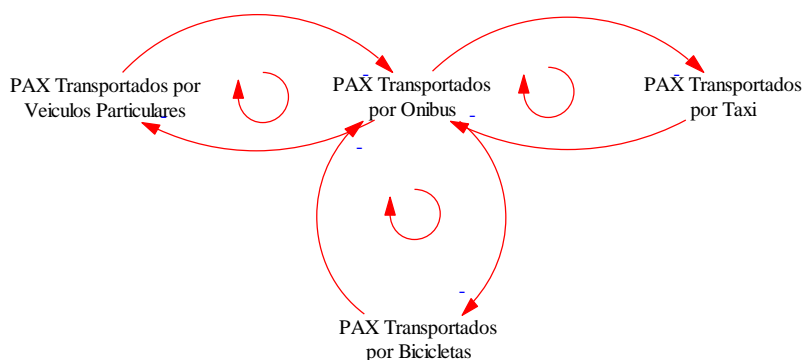


Figura 4 – DC para os modais

Para a PAX 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 possui influencia inversamente proporcional;
- 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 está trabalhando, possui influencia diretamente proporcional;
- 3)O tempo de espera, neste critério não considera-se somente o tempo, mas a percepção de tempo pelos usuários, possui influencia inversamente proporcional;
- 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, possui influencia inversamente proporcional.

A Figura 6 mostra o DC para esta situação.

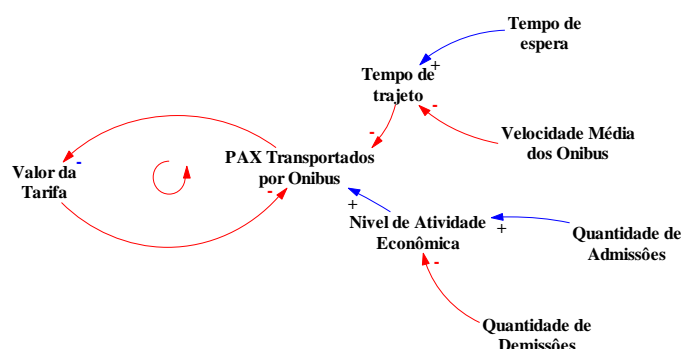


Figura 5 – DC para a PAX transportados por Ônibus

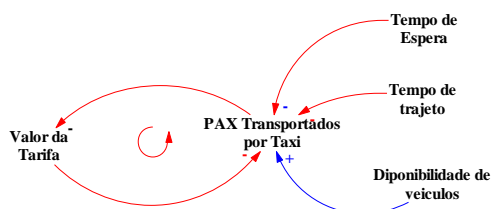


Figura 6 – DC para a PAX transportados por taxi

Para a PAX transportada por veículos particulares consideram-se veículos particulares os veículos próprios dos habitantes utilizados para seu próprio deslocamento. Segundo Fontoura et al. (2018) os principais fatores que impactam na demanda são:

- 1)O tempo gasto para percorrer o percurso, este tempo é variável em função do trânsito e da quantidade de veículos total transitando, possui influencia inversamente proporcional;
- 2)Os fatores da economia que possibilitam a compra de novos veículos, calculado através do nível da atividade econômica, para este cálculo, utilizou-se como indicador a diferença ente a quantidade de admissões e demissões no município no período, possui influencia diretamente proporcional.

A Figura 7 mostra o DC para esta situação.

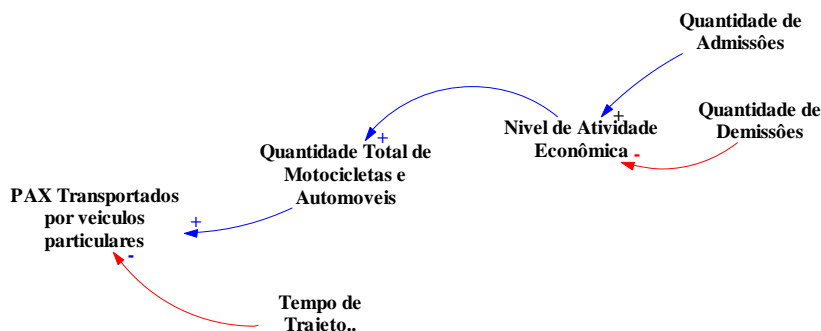


Figura 7 – DC para a PAX transportados por veículos particulares

Para a PAX transportada por bicicletas, temos segundo Franco (2012) os principais fatores que impactam na demanda são:

- 1)O tempo gasto para percorrer o percurso, possui influencia diretamente proporcional;
- 2)A distância percorrida, possui influencia diretamente proporcional;
- 3)As condições de trajeto e seu relevo, cidades com relevos muito acidentados tendem a ter uma menor utilização, possui influencia diretamente proporcional;
- 4)Disponibilidade de ciclovias, criação de vias exclusivas pelo poder público podem incentivar uma maior utilização, possui influencia diretamente proporcional.

A Figura 8 mostra o DC para esta situação.

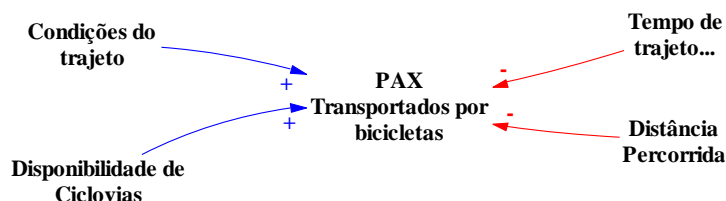


Figura 8 – DC para a PAX transportados por bicicletas

### 3.2. Modelo de DS proposto

Baseado nas variáveis analisadas pode-se propor um modelo completo de sistema dinâmico, onde pode-se verificar o relacionamento entre as variáveis citadas. Neste modelo pode-se observar que não se trata de um modelo simples, e sim de um modelo complexo, onde as variáveis são interdependentes e cada modal depende individualmente de cada uma das variáveis para a quantificação da quantidade de pessoas transportadas. A Figura 9 mostra o modelo DC proposto.

Neste modelo podem ser verificados que os relacionamentos entre a quantidade de pessoas transportadas pelos diversos modais são inversamente proporcionais, e cada uma delas causa impacto em todas as outras.

Por meio do modelo, conclui-se que cada um dos modais possui suas próprias características, que quando analisadas em um contexto global são adicionadas às variáveis dos demais modais.

#### 4. Conclusão

Este trabalho visou apresentar uma metodologia para resolver um problema que vem aumentando cada dia mais nas cidades. Através da metodologia da dinâmica de sistemas pode-se analisar quais os fatores devem ser trabalhados para que haja um equilíbrio entre os modais existentes.

A definição de qual o melhor modal a ser utilizado é uma decisão de cada município, baseado em suas necessidades, mas a metodologia e o diagrama causal desenvolvido podem ser de grande valia para a tomada desta decisão.

Neste trabalho não foram estudadas variáveis ambientais, que podem ser analisadas pelos municípios nas suas decisões estas variáveis podem ser analisadas em estudos futuros.

Também não foram consideradas as características ambientais dos municípios, pois para inserção destas variáveis dever-se-ia estudar um município específico.

Como sugestão para trabalhos futuros propõe-se o estudo das novas tecnologias aplicadas a transporte de passageiros, como aplicativos de transporte (ex. Uber, 99, Cabify), além dos aplicativos de modais de uso pessoal, como bicicletas (ex. Yellow) e patinetes (ex. Yellow, Grin), estes novos modais podem influenciar ditetamente nos demais modais, pois eles competem pelos mesmos usuários.

Sugere-se também, após a inserção destes novos modais, utilizar esta metodologia para fazer uma análise quantitativa de um município brasileiro, para se validar o modelo e verificar os impactos reais entra cada um dos atores estudados.

#### 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.

BAJRACHARYA, A. Private car and public transportation : dynamics of the modal share. , v. 130, p. 365–372.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.03.005>>. .

CARVALHO, C. H. R. DE; PEREIRA, R. H. M. Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte publico coletivo no Brasil. **IPEA**, 2011.

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. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967070X17302354>>. .

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

FRANCO, L. P. C. Perfil E Demanda Dos Usuários De Bicicletas Em Viagens Pendulares. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia**, p. 149, 2012. Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/DISSERTACOES/DISSERTACAO>>



LUIZA.pdf>.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2010.04.001>>. .

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

TOLUJEVS, J.; SHEDENOV, O.; ASKAROV, G. Investigation of road transport enterprise functioning on the basis of system dynamics. **Transport and Telecommunication**, v. 19, n. 1, p. 1–9, 2018.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.026>>. .



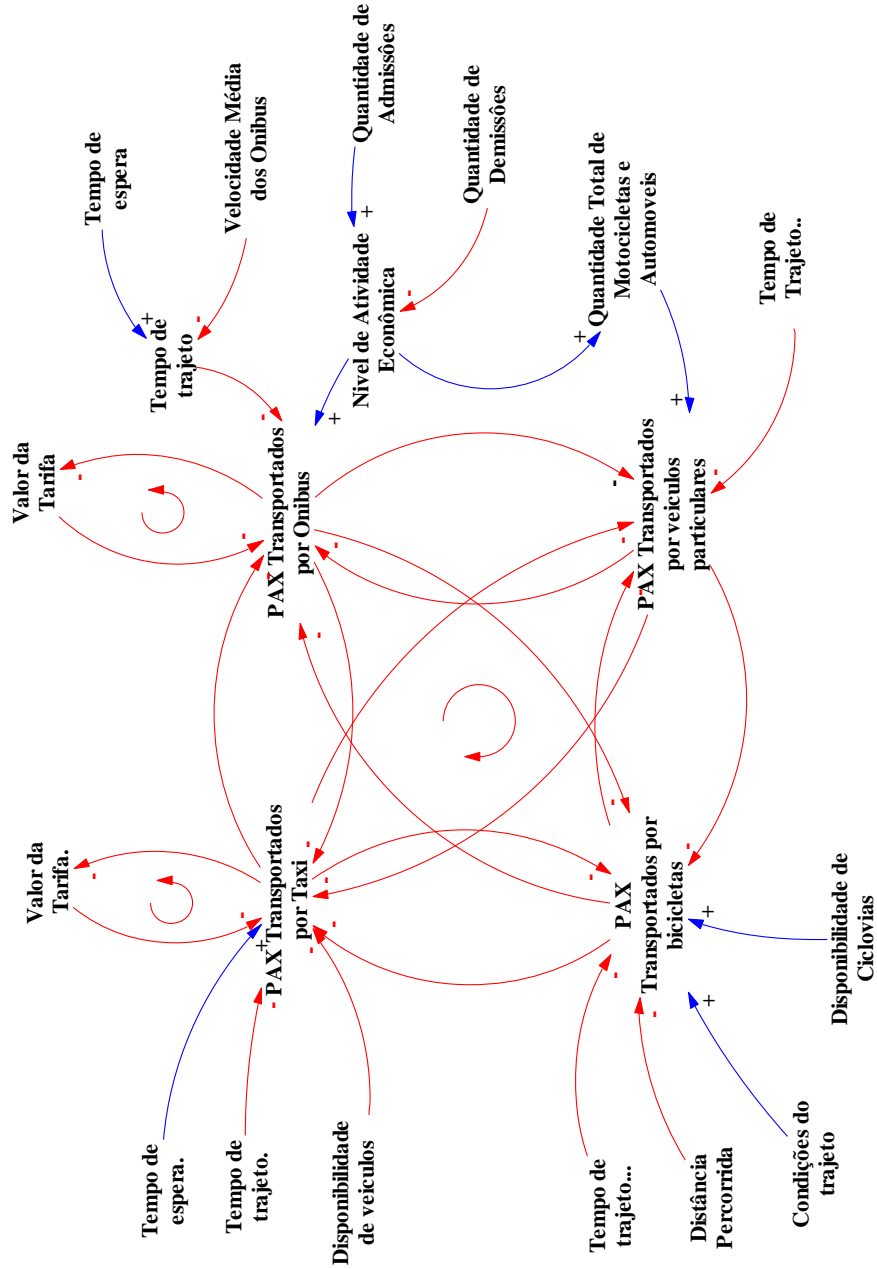


Figura 9 – DC para a PAX de um sistema de transporte municipal