



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE CHAPECÓ
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

MAIKON DOUGLAS DE SOUZA PEREIRA

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO NA
REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVO URBANO.**

**CHAPECÓ
2023**

MAIKON DOUGLAS DE SOUZA PEREIRA

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO NA
REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVO URBANO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.
Orientador: Prof. Braulio Adriano de Mello

CHAPECÓ
2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Pereira, Maikon Douglas de Souza
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA
SIMULAÇÃO NA REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES
COLETIVO URBANO / Maikon Douglas de Souza Pereira. --
2023.
56 f.

Orientador: Doutor Bráulio Adriano de Mello

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Ciência da Computação, Chapecó, SC, 2023.

1. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica
sistemática sobre a construção de modelos de simulação
que representam o comportamento de sistemas de
transporte coletivo urbano.. I. Mello, Bráulio Adriano
de, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul.
III. Título.

MAIKON DOUGLAS DE SOUZA PEREIRA

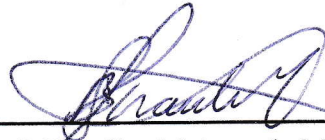
**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO NA
REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVO URBANO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Bráulio Adriano de Mello

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca avaliadora em:
11/7/2023.

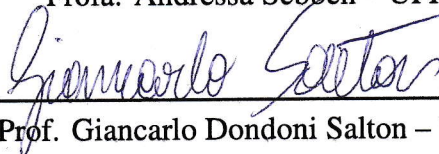
BANCA AVALIADORA



Prof. Bráulio Adriano de Mello – UFFS



Profa. Andressa Sebben – UFFS



Prof. Giancarlo Dondoni Salton – UFFS

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo ao meu Deus por nunca me abandonar, e estar abençoando e, permitindo que tudo isso acontecesse, longo de minha vida, sem dúvida alguma é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha família, que com muito carinho e apoio não mediram esforço para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Minha mãe Lenira, apesar de todas as dificuldades me fortaleceu, sei que, mesmo longe, a senhora, em momento algum fez com que eu me sentisse sozinho no mundo, me apoiando, incentivando nas horas difíceis, de desânimo cansaço, e nunca deixou de acreditar em mim. Ao meu Pai Isaias que sempre me ajudou, me trazendo para faculdade desde o primeiro dia para fazer inscrição com aquele sorriso no rosto. Não posso esquecer da minha irmã Maria Eduarda que de alguma forma pode me ajudar.

Não posso esquecer dos meus Pastores amados que são meus pais na fé: Pastor Antônio Divino , Pastora Margareth Moraes , Pastor Roberto Nepomuceno e Pastora Iara Beatriz que sempre intercede por mim, agradeço de coração pelo carinho.

A minha irmã de coração e amiga Michele Moraes pois em um momento de dificuldade mesmo distante ela me ajudou mesmo com palavras me incentivando a não desistir do meu sonho, e olha aí minha irmã fui até o final e estou quase chegando lá, gratidão.

A esta universidade, seu corpo docente em especial ao meu orientador Prof. Dr. Braulio Adriano de Mello obrigado pelos seus ensinamentos, dedicação, e disponibilidade em me orientar.

Em especial a minha amiga de curso Tatiane Barbosa e aos meus amigos Gabriela Paz e Deividi e Alessandra Amaral, obrigado pelo convívio, pelos momentos de estudos por vídeos conferências, pelas risadas durante esses anos dentro e fora da universidade tornando meus dias mais agradáveis, e principalmente por todo apoio e incentivo. A todos os meus colegas, obrigado pelo tempo que passaram comigo, vocês deixarão saudades.

E a todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, de coração cabe meu muito obrigado.

Muito obrigado.

RESUMO

A simulação computacional é uma ferramenta amplamente utilizada em pesquisas operacionais. Essa abordagem permite que experimentos sejam conduzidos em um modelo que reproduz o que pode ocorrer na realidade. A simulação é frequentemente empregada para a compreensão e previsão do comportamento de sistemas, como em sistemas de tráfego viário, agências bancárias, movimento de multidões. Entre eles, problemas enfrentados em grandes cidades, tais como congestionamentos de tráfego em sistemas de transporte público, podem ser originados por fatores como a superlotação dos veículos, custo das passagens ou número de veículos em circulação, todos com impacto direto na qualidade do serviço oferecido à sociedade. Nesse sentido, o planejamento e controle da circulação de ônibus em uma cidade é uma medida importante para a organização do trânsito local. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sistemática sobre a construção de modelos de simulação que representam o comportamento de sistemas de transporte coletivo urbano. A metodologia utilizada na pesquisa foi a revisão sistemática de literatura, na qual foram selecionados artigos científicos indexados nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico e Portal de periódicos CAPES, utilizando as palavras-chave "simulação", "aplicação" e "transporte público urbano". Os critérios de inclusão foram a disponibilidade integral do artigo e a sua publicação entre os anos de 2012 e 2022, abordando a temática da pesquisa. Os resultados indicam que a simulação computacional tem sido adotada, de forma mais expressiva, em estudos sobre sistemas de transporte coletivo urbano de grandes proporções e/ou complexidade. O tempo e esforço para completar o ciclo de vida de modelagem e simulação em sistemas de transporte atuam como limitadores do seu uso.

Palavras-chave: Simulação. Aplicação. Transportes Público Urbano.

ABSTRACT

Computer simulation is a widely used tool in operational research. This approach allows experiments to be conducted on a model that replicates what might occur in reality. Simulation is often used to understand and predict the behavior of systems, such as road traffic systems, bank branches, crowd movement.

Among them, problems faced in large cities, such as traffic congestion in public transport systems, can be caused by factors such as overcrowding of vehicles, cost of tickets or number of vehicles in circulation, all of which have a direct impact on the quality of the service offered to the society. In this sense, the planning and control of bus circulation in a city is an important measure for the organization of local traffic. This work presents a systematic literature review on the construction of simulation models that represent the behavior of urban public transport systems. The methodology used in the research was a systematic literature review, in which scientific articles indexed in the Scielo, Google Scholar and CAPES journals portal were selected, using the keywords "simulation", "application" and "urban public transport". The inclusion criteria were the full availability of the article and its publication between the years 2012 and 2022, addressing the research theme.

The results indicate that computer simulation has been adopted, in a more expressive way, in studies on urban public transport systems of large proportions and/or complexity. The time and effort to complete the modeling and simulation life cycle in transportation systems act as limiters of their use.

keyword: Simulation. Application. Urban Public Transport.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas para a elaboração de um modelo	20
Figura 2 – Uso do Transporte por Ônibus	22
Figura 3 – Corredor para ônibus	23
Figura 4 – Plano de transporte coletivo: Fases e Características	25
Figura 5 – Ciclo da Pesquisa	27
Figura 6 – Fluxograma de captação de estudos	31
Figura 7 – Gráfico 1 - Tipos de Publicações	43
Figura 8 – Gráfico 2 - Metodologia dos Estudos	44
Figura 9 – Gráfico 3 – Quantidades de Publicações por ano (2012-2022)	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Adaptado pelo Autor - Resumo geral dos Artigos	36
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	<i>SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</i>	19
2.1.1	Dificuldades na Construção de Modelos de Simulação	21
2.2	TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS	21
2.3	PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES URBANO POR ÔNIBUS	23
2.3.1	Aspectos do processo de Planejamento de transporte	23
2.3.2	Tipos de Planos	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	CICLO DA PESQUISA	27
3.2	PLANEJAMENTO	28
3.2.1	Objetivo:	28
3.3	STRING DE BUSCA:	28
3.3.1	Palavras-Chave	28
3.3.2	Questões de Pesquisa?	28
3.4	EXECUÇÃO	29
3.5	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO?	29
3.5.1	As fontes que atendem aos critérios de inclusão definidos:	29
3.5.2	Por sua vez, as fontes excluídas que atendem os critérios:	30
3.5.3	Bases de Estudos	30
3.6	APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS:	30
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS REFERÊNCIAS SELECIONADAS PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA	33
4.1	O QUE HÁ NA LITERATURA A RESPEITO DE APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA RESOLVER PROBLEMAS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO?	37
4.2	EXISTEM ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO QUE ABORDAM O USO DA SIMULAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS DOS TRANSPORTES URBANOS?	38
4.3	QUAIS SÃO AS MAIORES DIFICULDADES E ENTRAVES ENCONTRADOS QUANDO SE DESEJA APLICAR MECANISMOS DA SIMULAÇÃO NO SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO?	40
5	ANÁLISE COMPARATIVA, TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS	43
5.1	ABORDAGENS DE SIMULAÇÃO UTILIZADAS	44
5.2	VANTAGENS DA SIMULAÇÃO NA REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVOS URBANOS	45
5.3	LIMITAÇÕES E LACUNAS DE PESQUISA	46

5.4	DISCUSSÃO: DESAFIOS E TENDÊNCIAS	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6.1	CONCLUSÃO	53
6.2	TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Simulação computacional é uma técnica utilizada para modelar e analisar sistemas complexos por meio de programas de computador. Ela permite a criação de modelos matemáticos que simulam o comportamento do sistema em questão, permitindo testar diferentes cenários e avaliar o desempenho em diferentes condições (GAVIRA, 2003).

A simulação computacional pode ser aplicada em diversas áreas, como engenharia, física, biologia, economia, transportes, entre outras. Ela permite a análise de sistemas que não podem ser facilmente estudados em condições reais, bem como a realização de experimentos que seriam inviáveis ou perigosos na vida real. Essas características podem ser vantajosas para condução de estudos sobre sistemas de transporte coletivo urbano.

Os sistemas de transporte coletivo urbano são complexos e envolvem muitas variáveis, como a demanda de passageiros, o fluxo de tráfego, o tempo de espera, o tempo de viagem, a capacidade dos veículos, entre outros. A simulação permite que os investigadores estudem essas variáveis de forma integrada, permitindo a avaliação de diferentes cenários e estratégias de operação, sem a necessidade de implementá-las no mundo real, o que pode ser caro e arriscado.

Neste sentido, Venkat e Wakeland (2006), afirma que a Simulação Computacional (SC) é uma técnica de modelagem dinâmica que pode trazer melhorias na análise de sistemas, sendo um método muito útil para realizar a descrição, análise e resolução de processos e fenômenos que são complexos para descrever ou necessitam de investimentos altos para que sejam testados num espaço fixo, que necessitam de mudança física, além de afetar o sistema laboral. Rossetti (2015) pontua que a principal finalidade de um modelo de simulação computacional é a possibilidade de realizar observações sobre um sistema particular, com ações relacionadas em função do tempo, assim o modelo de simulação pode ser utilizado para prever o desempenho de um sistema.

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática de literatura que aborda as características e a complexidade da representação dos sistemas de transporte público urbano através da modelagem e simulação. Para atingir esse objetivo, foram definidos objetivos específicos para descrever a concepção de simulação de tráfego computacional e suas características, apresentar o conceito de transporte coletivo urbano por ônibus e discutir os resultados obtidos por meio da análise dos artigos incluídos no estudo da simulação computacional de sistemas de transporte coletivo. Em suma, este estudo visa aprofundar o conhecimento sobre a simulação computacional e sua aplicação na análise do sistema de transporte coletivo urbano por ônibus.

A aplicação da simulação na solução de problemas de transporte coletivo urbano pode trazer vantagens importantes. Além disso, a simulação possibilita análises profundas e a tomada de decisões mais fundamentadas, já que considera múltiplas variáveis e permite a avaliação de diferentes cenários.

Diante desses argumentos, torna-se relevante uma revisão sistemática para apresentar o estado da arte de estudos envolvendo a solução de problemas no transporte coletivo urbano por

simulação. Essa revisão permitiu avaliar contribuições existentes e identificar novas possibilidades de pesquisa e aplicação da simulação no campo do transporte público urbano.

De acordo com o autor (PEREIRA, A. L. S., 2019), é necessário que os setores público e privado, que são responsáveis pelos transportes em grandes cidades, adotem medidas para avaliar, organizar e coordenar o transporte. Isso permitirá reduzir os problemas de mobilidade urbana e melhorar o fluxo de veículos e pessoas nas cidades. Para que isso seja possível, é importante ter uma compreensão do modelo básico de viagens, conhecer os motivos e anseios da população, além de coletar dados socioeconômicos e outras informações relevantes. Somente dessa forma, é possível entender e modelar o sistema de transporte e realizar as adequações necessárias para melhorar a mobilidade urbana.

A problemática do trabalho se baseou na seguinte indagação: quais as possíveis vantagens e desvantagens de utilizar simuladores de sistemas de transporte coletivo para uma grande cidade? Determinadas decisões podem ser obtidas através de simulações por programas computacionais, a realizar inserção de novas linhas de ônibus; alteração na localização de parada de ônibus; redimensionamento da frota de ônibus, dentre outras ações. Essas ações implicam em estudos prévios com base matemática para encontrar possíveis impactos na adoção de decisões, inclusive na qualidade, e efetividade do sistema de transporte coletivo.

Sendo assim, o primeiro capítulo deste trabalho apresenta uma visão geral do estudo. O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica, onde são discutidos conceitos teóricos relacionados à simulação de tráfego computacional e transportes coletivos. No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia do trabalho, incluindo os procedimentos metodológicos adotados. Já o quarto capítulo se concentra nos resultados e discussão dos artigos selecionados por meio do critério de inclusão, destacando a análise aprofundada e os resultados obtidos por meio da revisão sistemática de literatura. Por fim, no quinto capítulo, é apresentada a conclusão, incluindo as considerações do pesquisador com base nos objetivos específicos alcançados ao longo do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar um breve referencial de alguns fundamentos básicos sobre os conceitos de simulação computacional e as principais dificuldades em sua utilização na modelagem de sistemas voltados a transporte coletivo urbano.

2.1 *SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL*

De acordo com (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), a simulação é uma técnica muito utilizada por sua flexibilidade, além de ser intuitiva, e que faz uso do computador para imitar a operação de um sistema.

Ao final dos anos 80, com a chegada dos computadores no mercado, houve uma facilidade em realizar animações em modelos de simulações computacional, fazendo com que houvesse uma melhor visualização do ambiente de simulação construído. Apesar da simulação computacional ser usada predominante, para analisar sistemas complexos, a simulação passou a ser utilizada por grandes empresas antes mesmo do lançamento do produto, sendo ainda pré-requisito para grandes investimentos (SOLON et al., 2012).

Para (SOLON et al., 2012) a simulação computacional tem se tornado uma ferramenta bastante conhecida e utilizada, uma vez que apresenta capacidade de avaliar sistemas complexos e considerar seu comportamento dinâmico.

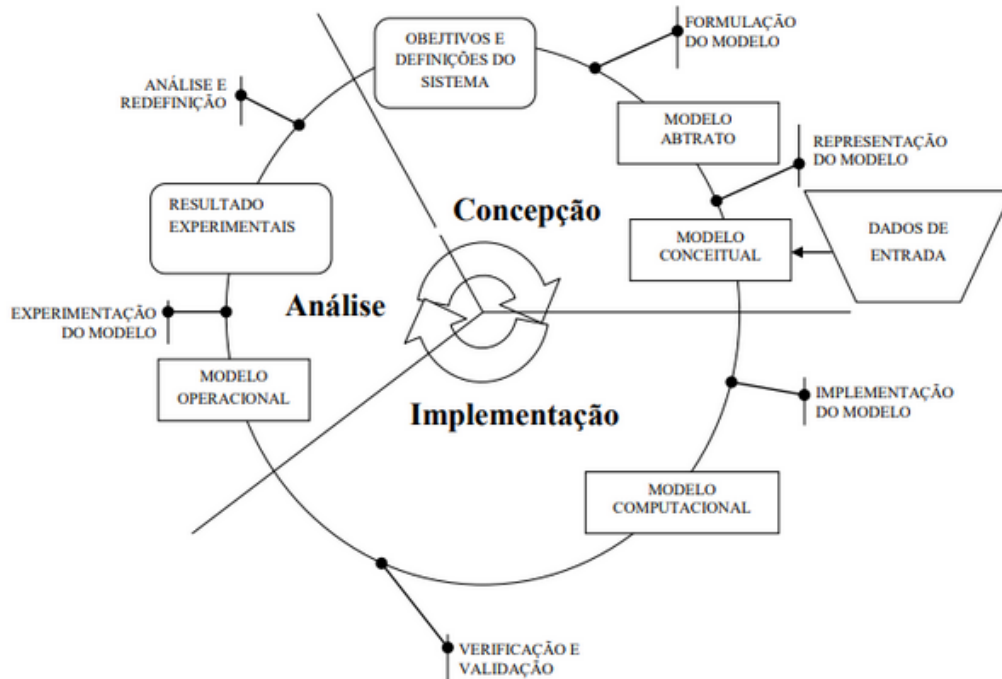
Conforme citado por (SOLON et al., 2012) em sua pesquisa a definição da simulação, feita por dois grandes autores, um deles sendo Schriber (1974 apud SOLON et al., 2012, p. 45), que define a simulação como uma modelagem de um processo de um sistema, de tal forma que o modelo faça a imitação do sistema real em uma sucessão de eventos. E o autor Freitas Filho (2001 apud SOLON et al., 2012, p. 45) apresenta como estudo de comportamentos de sistemas, mas com a utilização de modelos analógicos e físicos. Percebe-se que ambos definem de uma maneira a simulação e ainda observa que Schriber (1974) diz que não precisa necessariamente do uso de um computador para simulação. Entretanto os autores KELTON, SADOWSKI e SADOWSKI (2004 apud SOLON et al., 2012, p. 45), explica a possibilidade do uso de um computador ao definir a simulação, apresentando como uma vasta coleção de métodos para imitar o comportamento de um sistema real.

Alguns autores propõem uma sequência de etapas na criação de um modelo de simulação. O autor Chwif e Medina (2006) têm a ideia de construir modelos em três etapas principais, sendo elas:

- o conceito ou expressão do modelo;
- a execução do modelo;
- a análise dos resultados do modelo;

A imagem abaixo apresenta a proposta para a elaboração de um modelo de simulação de Chwif e Medina (2006) na Figura 1.

Figura 1 – Etapas para a elaboração de um modelo



Fonte – Adaptado por (CHWIF; MEDINA, 2006)

Comparando essas sugestões, encontraremos semelhanças, como a concepção, implementação e análise das fases de divisão do processo de desenvolvimento do modelo conceitual, modelo de cálculo e modelo de operação, bem como os requisitos para verificação contínua (CHWIF; MEDINA, 2006).

Conforme, se observa na figura 1 de Chwif e Medina (2006), referente ao processo de construção do modelo, o analista de simulação deve ter claramente em sua mente qual é o sistema a ser simulado e qual é a abrangência do modelo, para enfim transformar o modelo em conceitual.

A simulação é uma ferramenta muito potente, podendo ser aplicada em várias situações para resolução de problemas, como em aplicações em sistemas reais, apresentam uma complexidade, por causa da sua natureza ser dinâmica ou até mesmo aleatória (CHWIF; MEDINA, 2006).

Os autores Banks, CARSON II, Barry et al. (2005), definiram alguns elementos da simulação, como:

- Entidade: é representada por um objeto, podendo ser dinâmica ou estática, servindo a outras entidades.;

- Atributos: são características de entidades, ele é comum em toda entidade, podendo assumir vários valores diferentes e isto diferencia cada uma. Por exemplo, o atributo horário de entrada no sistema, então cada entidade terá um horário de chegada;
- Variáveis: são informações do sistema que refletem como algumas características, podendo ser representadas por números reais, vetores ou até matrizes;
- Recursos: são os que fornecem serviços às entidades, ou seja, as entidades precisam ocupar os recursos, que geralmente são representadas por máquinas, espaços ou até mesmo pessoas;
- Filas: são os locais ocupados pelas entidades, enquanto elas aguardam por uma liberação de um recurso que estava ocupado por uma entidade;
- Eventos: são acontecimentos, ocorrências que muitas vezes são programados ou não, e com isso podem acarretar algumas consequências no estado de um sistema;

2.1.1 Dificuldades na Construção de Modelos de Simulação

Muitas dificuldades encontradas por pesquisadores, são relatadas em suas pesquisas com a aplicação da ferramenta de simulação para a construção de modelos em ambientes simulados.

Segundo o pesquisador (TAVARES, 2011) ao aplicar a ferramenta Arena em sua pesquisa, referente ao problema da construção civil de canteiros de obra, vários problemas foram encontrados. Devido a ferramenta utilizada possuir recursos com limitações como ao uso de blocos de lógica, entidades e animações gráficas entre outros (TAVARES, 2011).

(TAVARES, 2011) ainda relata que a ferramenta Arena, apresenta deficiência ao parametrizar dados da construção civil na configuração do sistema, porque as quantidades de entidades geradas pelo sistema devem ser expressas em valores inteiros. Cada entidade é tratada individualmente, e quando houver a necessidade de se trabalhar com um grupo de entidades (vários materiais), ele deve primeiro ser convertido em uma única entidade que representa o grupo (um pacote de materiais) e também a impossibilidade de alteração da capacidade de colocar no transporte. Outra dificuldade é predeterminar o momento em que a entidade deve ser gerada. A necessidade de estabelecer um intervalo de tempo entre uma entrada na entidade e outra, dificulta a elaboração de um cronograma de serviços sem um intervalo fixo entre datas.

2.2 TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS

Conforme citado em sua pesquisa, Solon et al. (2012), sobre a definição feita pelos autores Ferraz e Torres (2001), o transporte está associado ao traslado de pessoas ou bens entre um local de origem e outro local de destino. O transporte de pessoas é conhecido como deslocamento e o transporte de bens é conhecido como transporte de cargas. Então quando

ocorre o deslocamento de pessoas dentro de uma cidade, isto é empregado como transporte urbano. Solon et al. (2012, p. 28) ainda cita o autor Melo (2000) que apresenta a seguinte definição sobre o transporte, que está relacionado a natureza da cidade, podendo influenciar a vida de uma grande parte da população em seus deslocamentos diários.

Devido a essa influência do transporte na sociedade, houve avanços em várias cidades, e com isso o tráfego urbano cresceu com divergências. O autor Maciel (2008), citado por (SOLON et al., 2012), diz que o tráfego urbano se tornou um dos grandes problemas da humanidade, afetando as classes sociais e categorias profissionais.

Com esses problemas acarretados pelo crescimento acelerado das cidades que dependem do transporte coletivo por ônibus, buscam por soluções para a melhoria da mobilidade de pessoas, mas não é uma tarefa simples e nem imediata. Pois não depende apenas de uma organização e sim de esforços de setores como prefeitura e governo. (SOLON et al., 2012) O uso do transporte por ônibus, ou melhor, a movimentação das pessoas ocorre na necessidade de se deslocar para o trabalho, universidade, escola e entre outros conforme na Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Uso do Transporte por Ônibus



Fonte – <https://falauniversidades.com.br/onibus-transporte-coletivo-brasil/>

Os autores (FERRAZ; TORRES, 2001), consideram que o tempo médio no veículo ou tempo da viagem é correspondente ao tempo ou distância percorrida entre os locais de embarque e desembarque dos passageiros. E ainda comentam os fatores que podem interferir no tempo do veículo, como a velocidade do veículo, a distância entre os pontos de paradas, a condição do pavimento da via e entre outros.

A capacidade do ônibus convencional pode atingir 75 passageiros e o micro-ônibus pode atingir a capacidade de até 35 passageiros, de acordo com (VASCONCELLOS, 2001). O sistema do ônibus pode se classificar em:

- Linhas: Linhas são divididas muitas vezes por bairros, elas devem passar pelos principais pólos de atração das áreas com a necessidade de atender os usuários desta linha.
- Pontos de Parada: são onde os passageiros embarcam e desembarcam, localizados no trajeto que o ônibus faz para chegar a um bairro ou outro lugar.
- Corredor do Ônibus: Em algumas cidades são utilizados os corredores de uso exclusivo para os ônibus, facilitando a passagem em vias de alto tráfego de veículos.

Conforme na Figura 3 abaixo, pode ver um exemplo de corredor exclusivo para ônibus.

Figura 3 – Corredor para ônibus



Fonte: <https://istoe.com.br/>

2.3 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES URBANO POR ÔNIBUS

O planejamento de transporte é um estudo que visa adequar as necessidades de transporte de uma área ao seu desenvolvimento, com base em suas características estruturais. Para determinar o que deve ser implementado ou melhorado no âmbito do projeto (esquema de tráfego), é necessário quantificar a demanda de tráfego e entender sua distribuição dentro da área de estudo (linha de demanda). Essa necessidade é avaliada por meio de um modelo de planejamento. Com esses modelos, tenta-se modelar o comportamento da demanda e a partir disso definir as alternativas que melhor se ajustam às realidades da região. Deve-se ter em mente que o processo de planejamento deve realmente ser incluído no plano de desenvolvimento da área de estudo, pois pode ser visto que as necessidades de transporte dependem do desenvolvimento atual e do desenvolvimento futuro proposto para a área. .

2.3.1 Aspectos do processo de Planejamento de transporte

Um plano pode ser de longo, médio ou curto prazo, sua duração depende dos recursos disponíveis e dos objetivos que se deseja alcançar e muitas vezes da urgência do problema que se deseja resolver. De uma forma geral um plano de transporte compreende as seguintes etapas:

- 1- Definição dos objetivos e prazos
- 2- Diagnóstico dos sistemas de transportes
- 3- Coleta de Dados
- 4- Escolha dos modelos a serem utilizados para avaliação da demanda futura.
- 5- Alternativas de Oferta de Transporte
- 6- Avaliação das alternativas (custos e impactos)
- 7- Escolha da alternativa
- 8- Desenvolvimento do plano de transporte acompanhado de um programa de financiamento.
- 9- Implementação das alternativas de acordo com um cronograma de desembolso de recursos.
- 10- Atualização dos procedimentos

Em geral, o desenvolvimento de um plano de transporte público segue as etapas apresentadas no fluxograma abaixo. A coluna da direita são as principais características do evento de cada etapa. Um plano de transporte geralmente se origina da identificação de deficiências ou necessidades de melhoria do transporte público e é inserido no fluxograma como uma primeira etapa.

2.3.2 Tipos de Planos

Os programas de análise e previsão de demanda são projetados para apoiar as decisões sobre as mudanças necessárias no sistema de transporte. Essas mudanças podem estar relacionadas a ações imediatas, incluir medidas operacionais que podem ser implementadas rapidamente e com baixo custo, ou podem incluir ações que levam mais tempo para serem implementadas.

Estas últimas estão inseridas no planejamento de médio e curto prazo e demandam mais recursos na maioria dos casos. Portanto, dependendo do escopo do plano de ação do sistema de transporte, as informações precisam ser coletadas por meio de pesquisas sobre estradas, sistemas, usuários ou comunidades.

Essa coleta de informações dará suporte aos modelos de previsão de demanda de acordo com sua finalidade e tempo de execução.

De acordo com o nível da decisão a ser tomada, o planejamento pode ser estratégico, tático ou operacional (PEREIRA, C. R., 2011):

- a) Nível Estratégico: o planejador está preocupado com as ações em longo prazo.

Este nível inclui o planejamento de transporte. O objetivo do planejamento de transporte é desenvolver planos ordenados que permitam que um sistema de transporte integrado seja totalmente desenvolvido e operado e gerenciado de maneira otimizada. Isso inclui a rede rodoviária e de transporte público, bem como sua infraestrutura terminal.

- b) Nível Tático: No nível tático (ou nível de projeto), normalmente são realizadas análises de médio a longo prazo. Neste nível de análise, são exemplos de tarefas: projeto geométrico

Figura 4 – Plano de transporte coletivo: Fases e Características



Fonte: Prof^a Vânia Barcellos Gouvêa campos/ (CAMPOS, 2013)

das vias (determinação de largura de faixas, declividade da via, dimensionamento de áreas para pedestres e largura de calçadas e de passeios, etc.), elaboração de projetos de sinalização e de controle eletrônico do tráfego, dentre outros. Estas tarefas podem ser consequência das diretrizes do planejamento estratégico ou podem ser oriundas de decisões baseadas em problemas operacionais.

c) Nível Operacional: O foco deste nível de decisão está principalmente nas ações de curto prazo e dentre as análises normalmente realizadas estão: configuração do uso das faixas de tráfego, aplicação de dispositivos de controle de tráfego, programação de semáforos, espaçamento e localização de paradas de ônibus, frequência de um serviço de ônibus, adição de faixa para veículos com ocupação interna alta, fornecimento de informações aos usuários em tempo real, detecção de incidentes, dentre outras. Devido ao seu foco de curto-prazo, é importante que haja dados detalhados sobre o objeto de estudo. A definição das atividades pertinentes a cada nível de planejamento é uma questão que gera discordâncias entre pesquisadores e operadores dos sistemas de tráfego.

3 METODOLOGIA

A escolha por uma pesquisa bibliográfica se justifica pelo objetivo de identificar e analisar os estudos já existentes sobre o tema em questão, no caso, que aborda as características e a complexidade na representação dos sistemas de transporte público urbano através da modelagem de simulação(SAMPAIO; MANCINI, 2007).

Com isso, foram utilizados protocolos de revisão sistemática, que consistem em selecionar, em bases de dados eletrônicas, artigos e relatórios relevantes para a pesquisa. A seleção das palavras-chave foi fundamental para garantir que a pesquisa fosse direcionada à problemática específica do estudo.

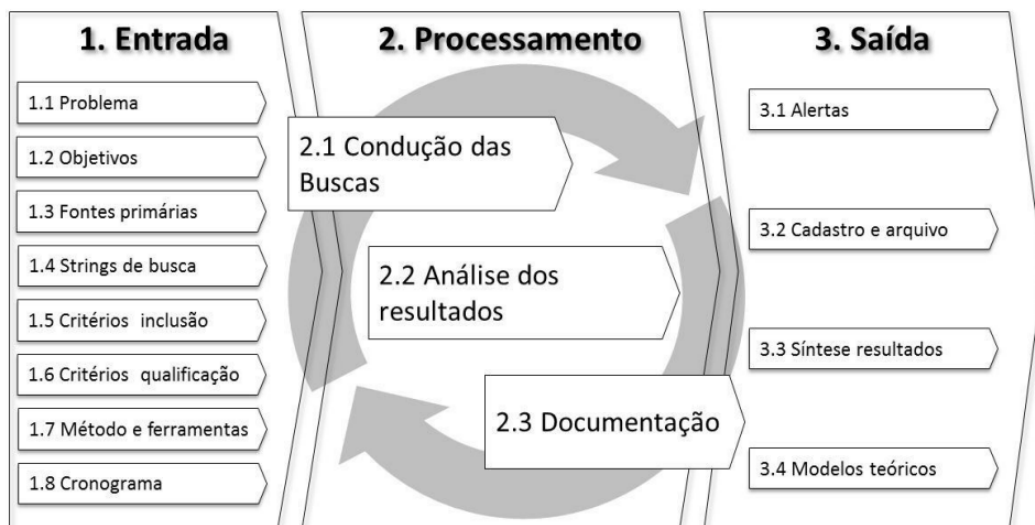
Além disso, a escolha mais de uma base de dados foi importante para garantir a cobertura de artigos de periódicos e relatórios de pesquisa publicados em diversas fontes.

Com base nisso, foi possível realizar um estudo aprofundado na Revisão Sistemática sobre a modelagem conceitual e as técnicas utilizadas em projetos de simulação de sistemas de transporte público urbano.

3.1 CICLO DA PESQUISA

É necessário estudar o estado da arte da modelagem conceitual em projetos de simulação computacional para entender como ela é utilizada e qual o papel que desempenha nesses modelos. Uma revisão sistemática de literatura foi realizada para interpretar esses resultados e coletar dados. Ela oferece apoio para as diretrizes da pesquisa, em relação à seleção, avaliação e análise dos estudos escolhidos (COOK et al., 1997).

Figura 5 – Ciclo da Pesquisa



Fonte: Modelo para condução da revisão bibliográfica sistemática (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011)

Os autores dizem que a RSL deve ser realizada em três etapas: planejamento, execução e descrição dos resultados. Biolchini et al. (2007) também apresentam as três etapas como condução de uma RS:

3.2 PLANEJAMENTO

Para a primeira fase da Revisão Sistemática, foi definido um painel para análise da modelagem conceitual na pesquisa realizada recentemente.

Onde foi definido um objetivo:

3.2.1 Objetivo:

Identificar estudos primários relacionados com as atividades simulação voltado em sistema de transportes públicos urbanos, mais precisamente na representação dos comportamentos a fim de resolver problemas frequentes ou futuros.

Nesta etapa também é definido o protocolo de pesquisa a ser adotado, definindo a string de busca dos artigos.

3.3 STRING DE BUSCA:

3.3.1 Palavras-Chave

A partir das palavras-chave definidas do protocolo, foram realizadas consultas de artigos em periódicos ou anais de congressos científicos nas bases de dados selecionadas. Apenas estudos recentes (publicados desde 2012 até 2022) foram considerados para avaliação do uso da simulação no sistema de transporte público urbanos.

Uma composição de termos foi usada inicialmente para estreitar o escopo das fontes de referência. Esses termos deveriam estar presentes no título, resumo ou palavras-chave para qualificar uma fonte (esses índices eram pesquisáveis por meio de ferramentas de busca avançada disponíveis para cada base de dados).

Para estabelecer que uma palavra-chave deve estabelecer que ambas ocorrem concomitantemente no mesmo documento.

A palavra chave definida foi : -> **Simulação and aplicação and transporte público urbano**

3.3.2 Questões de Pesquisa?

A Revisão Sistemática de Literatura busca a resposta para algumas questões básicas, ou seja, espera-se que alguns pontos particulares sejam esclarecidos e algumas questões sejam respondidas.

Para o estudo dos artigos selecionados e para entendimento das abordagens escolhidas, foram definidas as seguintes questões:

[QUESTÃO 1] O que há na literatura a respeito de aplicação da simulação para resolver problemas do transporte público urbano?

Critério: Abordagem de técnicas ou critérios que configurem uma metodologia de desenvolvimento representação de transportes públicos urbanos;

[QUESTÃO 2] Há algum estudo, concluído ou em andamento, sobre métodos de avaliação do uso da simulação com as características de transportes urbanos?

Critério: Abordagens que apresentem ou avaliem algum método que configure o uso da simulação para o apoio ao transporte urbano.

[QUESTÃO 3] Existem estudos concluídos ou em andamento que abordam o uso da simulação com as características dos transportes urbanos?

Critério: Os estudos devem relatar dificuldades encontradas na representação que impliquem na construção modelos de simulação voltados a sistema de transporte urbano;

3.4 EXECUÇÃO

Na segunda etapa, começa a definição da estratégia uma análise exploratória sobre o uso da simulação no sistema de transporte público urbanos foi realizada em várias bases de dados científicas. Esse levantamento preliminar auxiliou na seleção das fontes de referência e na definição das palavras chave utilizadas na RS.

Com base em nossas experiências com periódicos, consultamos bases de dados que tradicionalmente publicam artigos sobre o tema.

3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO?

Para selecionar apenas artigos relevantes para o tema do estudo, definimos os critérios de inclusão e exclusão. Foram incluídos apenas estudos que atendem a pelo menos um dos critérios de inclusão e nenhum dos critérios de exclusão.

3.5.1 As fontes que atendem aos critérios de inclusão definidos:

(a) apresentar ou discutir conceitos, critérios e metodologias de aplicação de sistemas de transportes público urbanos e que sejam representados com o uso da simulação;

(b) aplicar uma metodologia específica na avaliação do uso da simulação com as características mencionadas no primeiro critério de inclusão;

(c) apresentar conceitos sobre simulação e transportes.

(d) idioma dos artigos somente na língua portuguesa.

3.5.2 Por sua vez, as fontes excluídas que atendem os critérios:

- (e) ser semelhantes, em conteúdos e resultados , mesmo autores.
- (f)ter ano de publicação fora do período especificado.

3.5.3 Bases de Estudos

Foram definidas três bases de estudo, por sua reputação e importância no ambiente acadêmico. Todas as plataformas têm facilidade de busca por palavras-chave, possibilidade de busca pela string definida e também acesso gratuito às obras.

As seguintes bases de dados foram selecionadas:

- Scielo
- Portal de periódicos CAPES
- Google Acadêmico

Com a definição das bases de estudo, o próximo passo foi definir a string de busca de tal forma que obtivéssemos trabalhos relevantes à nossa pesquisa.

3.6 APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS:

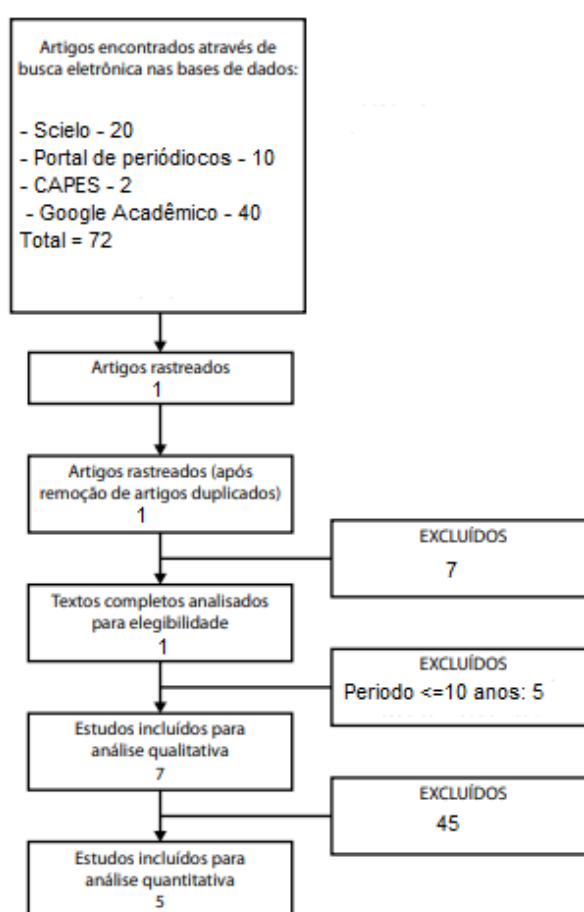
Com base nos critérios (a,b,c,d), isso significa que os estudos devem explorar como a simulação pode ser utilizada para analisar e avaliar sistemas de transporte público urbano. Pois implica que os estudos devem descrever a metodologia adotada para realizar a análise e avaliação dos sistemas de transporte usando a simulação. E que os estudos devem discutir os fundamentos teóricos e as definições relacionadas à simulação de sistemas de transporte público urbano.

No total, foram incluídos 15 artigos que atenderam a todas as condições mencionadas. Esses artigos foram considerados relevantes para a revisão sistemática por abordarem conceitos, critérios e metodologias de aplicação de sistemas de transportes públicos urbanos com o uso da simulação, aplicarem uma metodologia específica que atende aos critérios mencionados e apresentarem conceitos sobre simulação e transportes.

Além disso, alguns critérios (e,f) foram estabelecidos para a exclusão de fontes. Os 57 artigos que foram semelhantes em conteúdo e resultados, mesmo autores, foram excluídos para evitar redundâncias e repetições de informações. Além disso, as fontes com ano de publicação fora do período especificado também foram excluídas, para garantir que os estudos considerados estejam atualizados e reflitam as informações mais recentes disponíveis.

Em resumo, a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão permitiu selecionar 15 artigos relevantes que atenderam aos requisitos da revisão sistemática, fornecendo informações valiosas sobre conceitos, critérios, metodologias de aplicação de sistemas de transportes públicos urbanos com o uso da simulação e apresentando conceitos sobre simulação e transportes.

Figura 6 – Fluxograma de captação de estudos



Fonte – Elaborado pelo Autor

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS REFERÊNCIAS SELECIONADAS PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA

A partir da metodologia da revisão sistemática que busca reunir estudos científicos que sejam considerados primários, este capítulo apresenta a discussão das referências selecionadas. Esses estudos podem abordar diferentes aspectos relacionados à aplicação da simulação nos sistemas de transportes públicos urbanos, como a modelagem do comportamento dos usuários, a análise do fluxo de passageiros, a avaliação de políticas e intervenções de transporte, entre outros.

A contribuição da revisão sistemática está em sintetizar e analisar criticamente os estudos existentes, destacando as principais descobertas, tendências e lacunas. Isso pode ser valioso para pesquisadores, profissionais da área de transportes públicos urbanos e formuladores de políticas, pois fornece uma base de evidências para embasar decisões e estratégias de intervenção. Além disso, a revisão sistemática pode servir como uma fonte confiável de informações para orientar pesquisas futuras e promover o avanço da área de simulação em sistemas de transportes públicos urbanos.

Neste capítulo apresentaremos uma visão geral dos estudos, assim como os resultados conforme as questões de pesquisa previamente definidas na metodologia.

A identificação dos estudos selecionados está resumida na tabela abaixo com a indicação dos autores, ano da publicação, e principal objetivo e resultados.

Título	Autor/Ano	Objetivo	Resultados principais
1- Análise do desempenho do transporte público responsivo à demanda por meio de simulação multi-agente baseada em atividades	Brasil, Lorena Gonçalves (2019)	Usar a simulação multi-agente baseada em atividades para avaliar o desempenho de um sistema de transporte;	Os resultados da análise podem fornecer insights e orientações para melhorar o planejamento e a operação do transporte público.
2- Simulação aplicada a um terminal de passageiros: Relação entre desistência de realização da viagem e frequência de atendimento aos usuários	Abreu, Victor, Oda, Sandra, Mattos, Glaydston, Oliveira, Alan J (2015)	Utilizar a simulação como método para analisar o impacto da frequência de atendimento nas taxas de desistência.	Através da simulação foi possível minimizar as taxas de desistência e maximizar a satisfação dos usuários.

3- Um modelo computacional para a simulação de sistemas de transporte urbano	Morais, Daniel Marques Gomes, Digiam-pietri, Luciano Antônio (2018)	Avaliar o desempenho do sistema de transporte urbano sob diferentes cenários.	Com o uso da simulação foram avaliados diferentes cenários, permitindo a identificação de melhorias e otimizações potenciais.
4- Análise e simulação da operação de ônibus em corredores exclusivos	Castilho, Rodrigo Alberto (2015)	Realizar uma análise detalhada da operação de ônibus em corredores exclusivos.	A simulação permitiu uma análise abrangente da operação de ônibus em corredores exclusivos.
5- Verificação da qualidade da representação do tráfego no Simulador Aimsun a partir de metodologia de calibração	Oliveira, Juliana Linder (2014)	Verificar a qualidade da representação do tráfego no simulador Aimsun.	A metodologia de calibração permitiu avaliar a qualidade da representação do tráfego no simulador Aimsun.
6- Modelo simplificado de simulação por cenários aplicados ao gerenciamento de transporte público por ônibus	Pavelski, Luziane Machado, Bernardinis, Marcia de Andrade Pereira (2018)	Desenvolver um modelo simplificado de simulação por cenários para o gerenciamento de transporte público por ônibus.	O modelo de simulação por cenários permitiu analisar o desempenho em diferentes situações .
7- Intervenções operacionais visando a regularidade e a eficiência de sistemas de ônibus urbanos: resenha de estudos acadêmicos e simulação de aplicações com dados reais	Pereira, Arnaldo Luis Santos (2019)	Comparar os resultados simulados com os dados reais para verificar a precisão e confiabilidade da simulação.	Os resultados simulados mostraram redução no tempo de viagem, diminuição do tempo de espera dos passageiros.

8- A Simulação como ferramenta de auxílio ao dimensionamento de frotas para o transporte público urbano	Silveira,Hugo Ribeiro, Oliveira,Mário Jorge Ferreira (2015)	Utilizar a simulação como uma ferramenta para auxiliar o dimensionamento de frotas no transporte público urbano.	A simulação foi efetiva como ferramenta de auxílio ao dimensionamento de frotas no transporte público urbano.
9- Itrans – Simulador de Trânsito 3D	Barros,Paulo Gonçalves (2015)	Fornecer uma ferramenta computacional que possa simular o comportamento do tráfego em uma determinada área.	O ambiente virtual criado no Itrans representa com fidelidade as características e dinâmicas do tráfego urbano.
10- Simulação para melhoria das falhas em uma linha de ônibus, utilizando o Arena	Formigoni,Alexandre (2022)	Utilizar a simulação como uma ferramenta para melhorar as falhas em uma linha de ônibus.	O software Arena permitiu identificar as principais causas de falhas e atrasos na operação da linha de ônibus em estudo.
11- Aplicação da logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus	Solon, Alessandro Silva (2012)	A modelagem e simulação permitiram avaliar o desempenho do sistema de transporte em diferentes cenários.	O resultado, embora tímido, permitiu uma avaliação precisa da situação e uma verificação da situação ideal para o objeto de estudo.
12- Simulador do fluxo de ônibus no terminal de integração do varadouro: Um estudo computacional	Correia,Rony Rodrigues ,Farias, Huga Carla Alves, Lima, Aluisio Bruno Ataide , Medeiros, Sheyla Natalia	Utilizar uma abordagem computacional para analisar o desempenho operacional do terminal.	A abordagem computacional permitiu analisar o desempenho operacional do terminal de forma precisa e detalhada.
13- Projetos de corredores de ônibus: avaliando o desempenho através da simulação	Lindau, Luis A, Castilho, Rodrigo A, Castilho, Bernardo J (2015)	Avaliar o desempenho de projetos de corredores de ônibus por meio de simulação..	A simulação foi eficaz na avaliação do desempenho de projetos de corredores de ônibus.

14- Modelagem e simulação de sistemas de transporte coletivo com ônibus: Um estudo de caso em Goiânia-GO	Carmo, Welton Cardoso (2018)	Realizar a modelagem e simulação de sistemas de transporte coletivo com ônibus em Goiânia-GO.	Foram identificados gargalos e áreas de melhoria no sistema de transporte coletivo de Goiânia..
15- A RecRoute: Um sistemas de recomendações de rotas de ônibus baseado em informações contextuais dos usuários	Tito, Adriano de Oliveira (2015)	Desenvolver um sistema de recomendação de rotas de transporte público por ônibus.	O sistema RecRoute foi desenvolvido como um sistema de recomendação de rotas de ônibus personalizadas..

Tabela 1 – Adaptado pelo Autor - Resumo geral dos Artigos

A análise dos 15 artigos selecionados mostra que existem diferentes abordagens, objetivos e métodos utilizados no desenvolvimento e aplicação de modelos de simulação em problemas de transporte urbano de ônibus. Por exemplo, a aplicação da simulação em sistemas de transporte requer a modelagem do sistema para determinar o número de viagens simuladas, o qual aumenta proporcionalmente ao tamanho da área ou região em que o sistema é implantado. Como resultado, é necessário ter maior capacidade de processamento computacional para realizar essas simulações e analisar diferentes situações. Essas características específicas motivam a utilização de diversos modelos de simulação, que mostram possíveis soluções de melhoria e facilitam o estudo. Através da ferramenta de simulação, é possível realizar uma modelagem do trajeto com menor impacto, contribuindo para o aprimoramento do sistema de transporte em questão.

Ressaltando que escolher uma determinada técnica para a construção da modelagem pode ser tarefa árdua. Por exemplo, em sistemas complexos como o movimento de passageiros em terminais e linhas urbanas, não há um único método de modelagem conceitual capaz de modelar completamente tais sistemas. Outras dificuldades também citadas, se referem à inserção de dados da capacidade do ônibus, gerando incompatibilidades dos números de passageiros deixados em uma parada quando os ônibus estão lotados. Os resultados computacionais demonstram que modelos fidedignos são capazes de simular a realidade dos processos de transporte coletivo urbano tais como o comportamento de terminais de transição, determinar a frequência de chegada de passageiros, de modo a auxiliar os planejadores de transportes na tomada de decisões.

4.1 O QUE HÁ NA LITERATURA A RESPEITO DE APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA RESOLVER PROBLEMAS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO?

O artigo "Análise do Desempenho do Transporte Público Responsivo à Demanda por Meio de Simulação Multiagente Baseada em Atividades" apresenta uma abordagem interessante para avaliar o desempenho do transporte público responsivo à demanda em uma rede de transporte urbana, utilizando simulação baseada em agentes (BRASIL, 2019).

Uma das principais vantagens da abordagem proposta é a consideração das atividades dos passageiros e a interação entre os diferentes modos de transporte. Isso permite que os pesquisadores possam avaliar diferentes estratégias de transporte público responsivo à demanda de forma mais realista e precisa. Os resultados da simulação mostraram que a estratégia de otimização da frequência de ônibus de acordo com a demanda foi a mais eficiente, o que sugere que as empresas de transporte público poderiam se beneficiar com essa abordagem para melhorar o desempenho do sistema.

No entanto, uma possível limitação do estudo é a utilização de uma rede de transporte urbana fictícia. Embora seja compreensível que os pesquisadores precisem criar um cenário controlado para a simulação, os resultados poderiam ser diferentes em uma rede de transporte urbana real. Além disso, o estudo não levou em consideração fatores externos que podem afetar o desempenho do transporte público, como condições climáticas, tráfego intenso e eventos públicos. Apesar dessas limitações, o estudo apresenta uma abordagem interessante para avaliar o desempenho do transporte público responsivo à demanda, e sugere que a simulação baseada em agentes pode ser uma ferramenta útil para testar diferentes estratégias de transporte público e identificar a mais eficiente para melhorar o desempenho do sistema de transporte urbano.

(PEREIRA, A. L. S., 2019) apresenta uma resenha de estudos acadêmicos que investigaram diferentes intervenções operacionais para melhorar a regularidade e a eficiência dos sistemas de ônibus urbanos. O artigo começa com uma revisão dos principais estudos acadêmicos sobre intervenções operacionais em sistemas de ônibus urbanos, incluindo a revisão de estratégias como priorização de ônibus, gestão de faixas, ajuste de horários e otimização de rotas.

Em seguida, os autores realizam uma análise empírica utilizando dados reais de uma cidade brasileira para simular algumas dessas intervenções operacionais. O autor também sugere a simulação de diferentes intervenções operacionais utilizando principalmente dados reais. Resolvendo assim o problema da alta quantidade de dados ao dividir o problema em partes menores, como: a implementação de rotas mais curtas, a reconfiguração de horários e o aumento da frequência dos ônibus, para avaliar a efetividade dessas intervenções na melhoria dos serviços de ônibus urbanos.

Dessa forma, o artigo apresenta uma abordagem que combina a revisão de literatura com a simulação de intervenções operacionais, fornecendo compreensão sobre as melhores práticas para resolver problemas do transporte público urbano. No entanto, os autores também destacam a importância de considerar as particularidades de cada sistema de ônibus urbano ao planejar e

implementar essas intervenções. Os resultados mostram que as intervenções operacionais podem melhorar significativamente a eficiência e regularidade do sistema de ônibus urbanos, reduzindo os tempos de viagem, aumentando a confiabilidade do serviço e melhorando a experiência do usuário.

(SILVEIRA; OLIVEIRA, s.d.) destaca a utilização da simulação como uma ferramenta de auxílio para o dimensionamento de frotas de ônibus urbanos. O objetivo do estudo foi avaliar a efetividade da simulação para o planejamento do serviço de transporte público. Apresenta uma revisão da literatura sobre o uso da simulação em estudos relacionados ao transporte público urbano, frisando que a simulação é amplamente utilizada para avaliar e melhorar a eficiência dos sistemas de transporte, permitindo a análise de diferentes cenários e a avaliação de intervenções operacionais antes da sua implementação.

O estudo se baseou em uma pesquisa de campo em uma cidade brasileira e os resultados mostraram que a simulação é uma ferramenta bastante útil para o planejamento e otimização do transporte público urbano. (SILVEIRA; OLIVEIRA, s.d.) conclui que a simulação é uma ferramenta útil para o dimensionamento de frotas de ônibus urbanos, permitindo que sejam realizadas análises mais precisas e realistas da demanda de transporte, o que pode levar a uma alocação mais eficiente dos recursos disponíveis. Nesse sentido, a importância das ferramentas de simulação para a tomada de decisões no planejamento e na gestão do transporte público urbano, permite que sejam avaliados diferentes cenários e intervenções operacionais antes da sua implementação, o que pode levar a uma melhoria significativa da eficiência e da qualidade dos serviços de transporte público.

No entanto, é importante lembrar que a simulação é apenas uma ferramenta de auxílio. Os resultados da simulação são baseados em hipóteses e modelos, e podem não refletir precisamente a realidade. Além disso, os resultados da simulação devem ser interpretados cuidadosamente e considerados em conjunto com outras informações e considerações importantes, como custos, questões ambientais e expectativas dos usuários.

4.2 EXISTEM ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO QUE ABORDAM O USO DA SIMULAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS DOS TRANSPORTES URBANOS?

Em (PAVELSKI; BERNARDINIS, 2018) é apresentado um modelo simplificado de simulação por cenários para o gerenciamento de transporte público por ônibus. Ele descreve como a simulação pode ser utilizada para identificar problemas do transporte público, incluindo a análise da eficiência do sistema, a avaliação do impacto de mudanças de rota e o planejamento de recursos. O artigo também discute as limitações do modelo e sugere possíveis melhorias para futuros trabalhos. O artigo aborda algumas das dificuldades encontradas na aplicação de mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano, como a complexidade e dinamicidade do sistema, a heterogeneidade dos usuários e das demandas, e a dificuldade em obter dados precisos e confiáveis. Para lidar com essas dificuldades, o artigo propõe um modelo simplificado

de simulação por cenários, que permite avaliar o desempenho do sistema em diferentes condições e identificar as melhores estratégias de gerenciamento. O modelo utiliza dados de GPS dos ônibus e informações sobre a demanda dos usuários para simular a operação do sistema em diferentes cenários de demanda e oferta de transporte. Com base nos resultados da simulação, o artigo propõe recomendações para melhorar a eficiência e a qualidade do serviço de transporte público por ônibus.

Em (FORMIGONI et al., 2022) a simulação é utilizada para a análise da distribuição das linhas de ônibus em corredores urbanos, com o objetivo de melhorar a eficiência do transporte público. A abordagem adotada é baseada na logística urbana, utilizando conceitos como a localização de instalações e a otimização de rotas. Assim, o estudo apresenta uma aplicação específica da simulação para resolver problemas de logística no transporte público urbano, complementando os estudos existentes na literatura que abordam outros aspectos do sistema de transporte público urbano.

Notamos que artigos baseados em métodos de avaliação do uso da simulação com as características de transportes urbanos despertam menos interesse por se tratar na maioria dos casos:

Na construção de modelos de simulação pode apresentar várias dificuldades que podem surgir em diferentes etapas do processo. Aqui estão algumas das principais dificuldades enfrentadas ao construir modelos de simulação:

- Falta de reconhecimento da importância dos transportes urbanos: Em muitas áreas de estudo e pesquisa, os transportes urbanos podem ser subestimados em comparação com outros setores, como saúde, energia ou tecnologia. Isso pode resultar em menos interesse geral na avaliação de métodos de simulação específicos para os transportes urbanos (PAVELSKI; BERNARDINIS, 2018).
- Complexidade e limitações dos modelos de simulação: A simulação de transportes urbanos envolve modelos complexos que exigem dados precisos, algoritmos sofisticados e recursos computacionais consideráveis. Essa complexidade pode afastar alguns pesquisadores que podem preferir áreas mais acessíveis e menos exigentes em termos técnicos (PAVELSKI; BERNARDINIS, 2018).
- Abordagens de avaliação já estabelecidas: Existem várias abordagens tradicionais de avaliação do uso de simulação em transportes urbanos que já foram amplamente exploradas e documentadas. Isso pode levar à percepção de que novos métodos de avaliação não oferecem benefícios significativos em relação às abordagens já existentes (SOLON et al., 2012).
- Menor disponibilidade de dados e estudos de caso: A obtenção de dados reais para a simulação de transportes urbanos pode ser desafiadora, especialmente em relação a dados em tempo real ou específicos de uma determinada cidade. A falta de dados relevantes

e estudos de caso pode diminuir o interesse dos pesquisadores em explorar métodos de avaliação nessa área (PAVELSKI; BERNARDINIS, 2018).

- Dificuldade em generalizar os resultados: Os sistemas de transporte urbano podem variar amplamente entre diferentes cidades, países e regiões. Isso dificulta a generalização dos resultados obtidos em um determinado contexto, o que pode desencorajar pesquisadores de se envolverem nesse campo (PAVELSKI; BERNARDINIS, 2018).

No entanto, é importante ressaltar que esses argumentos não implicam que a avaliação do uso de simulações com características de transporte urbano seja irrelevante ou sem mérito. Eles simplesmente destacam possíveis razões para o baixo interesse em comparação com outros campos de estudo estabelecidos ou avançados.

4.3 QUAIS SÃO AS MAIORES DIFICULDADES E ENTRAVES ENCONTRADOS QUANDO SE DESEJA APLICAR MECANISMOS DA SIMULAÇÃO NO SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO?

As contribuições apresentadas em (ABREU et al., 2018) fornecem algumas informações que podem ser úteis para entender as maiores dificuldades e entraves encontrados ao se aplicar mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano. O estudo aborda a relação entre a frequência de atendimento aos usuários e a desistência de realização da viagem em um terminal de passageiros, utilizando a simulação para avaliar diferentes cenários. Os resultados sugerem que a frequência de atendimento aos usuários é um fator importante para minimizar a desistência de realização da viagem.

No entanto, o estudo também identifica algumas limitações da simulação, como a dificuldade em modelar a dinâmica dos usuários, as variações nos horários de pico e a precisão dos dados de entrada. Além disso, o estudo não leva em consideração outros fatores externos que podem afetar o desempenho do sistema de transporte, como condições climáticas e tráfego intenso. Portanto, o artigo fornece algumas informações relevantes sobre as dificuldades e entraves encontrados ao se aplicar mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano, como a complexidade do sistema de transporte, a dificuldade em modelar a dinâmica dos usuários e a validação dos resultados da simulação em relação à realidade.

A importância da simulação como uma ferramenta para avaliar diferentes cenários e identificar possíveis problemas no sistema de transporte público é afirmada em (CASTILHO, 1997). O autor aponta para a necessidade de modelar com precisão os diferentes componentes do sistema de transporte, como a infraestrutura, os veículos e os usuários, para obter resultados confiáveis da simulação. Isso sugere que a aplicação da simulação no transporte urbano pode exigir um alto nível de precisão e detalhamento dados relativos ao desempenho dos ônibus são escassos, e por isso é difícil determinar com precisão a que distribuição pertencem e quais os parâmetros desta distribuição.

A importância da calibração dos modelos de simulação para garantir a precisão dos resultados é destacada em (OLIVEIRA, 2014). A calibração, precisão e a representatividade dos modelos estão entre os principais desafios na aplicação da simulação no transporte urbano. Os resultados também destacam que a complexidade da operação de ônibus em corredores exclusivos e a necessidade de considerar diversos fatores na modelagem, como a interação com outros modos de transporte, a influência de fatores externos, como o clima, e a influência do comportamento dos usuários, como a escolha de rotas e horários.

O pesquisador (OLIVEIRA, 2014) destaca algumas das principais dificuldades enfrentadas no estudo. Uma delas é a falta de dados precisos e confiáveis sobre o sistema de transporte, que precisam ser coletados em campo. Além disso, é necessário realizar ajustes constantes para garantir a precisão do modelo.

A metodologia proposta no artigo utiliza os dados coletados em campo para calibrar os parâmetros do modelo e comparar os resultados simulados com os dados observados. No entanto, a complexidade do ambiente urbano e do sistema de transporte em si torna desafiador modelar e prever o comportamento dos usuários e dos veículos, o que adiciona uma camada adicional de dificuldade ao estudo.

Essas dificuldades ressaltam a importância da calibração dos modelos de simulação de tráfego e da obtenção de dados confiáveis para garantir a precisão dos resultados. É fundamental considerar esses desafios ao aplicar a metodologia proposta em outros contextos e buscar constantemente melhorias para aprimorar a representação do tráfego nos simuladores, contribuindo assim para a confiabilidade dos resultados e a eficácia das análises no campo do transporte.

Além disso, o artigo destaca a importância de se considerar fatores como as condições de tráfego, a oferta e a demanda de transporte, as características dos veículos, as condições climáticas e as políticas públicas, que podem afetar significativamente a eficácia das intervenções operacionais. Assim, o artigo sugere a necessidade de se realizar uma análise detalhada do sistema de transporte urbano antes da aplicação de mecanismos de simulação, a fim de identificar as principais dificuldades e entraves e desenvolver modelos que levem em conta as características específicas do sistema em questão.

Entre as principais dificuldades destacadas por Silveira e Oliveira (2015)(SILVEIRA; OLIVEIRA, s.d.) estão a falta de dados precisos e confiáveis sobre o sistema de transporte, a complexidade do ambiente urbano e do sistema de transporte em si, além da dificuldade em modelar e prever o comportamento dos usuários e dos veículos. Também é colocada a importância de se considerar fatores como as condições de tráfego, a oferta e a demanda de transporte, as características dos veículos, as condições climáticas e as políticas públicas, que podem afetar significativamente a eficácia das intervenções operacionais. Cita que as limitações computacionais podem ser uma barreira para a aplicação da simulação no sistema de transporte urbano, especialmente quando se considera o grande volume de dados que precisa ser processado em tempo real.

(FORMIGONI et al., 2022) apontam algumas dificuldades e entraves encontrados na

aplicação de mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano, como a falta de dados precisos e atualizados sobre o sistema de transporte, o custo e o tempo necessários para coletar e processar esses dados, a complexidade do sistema de transporte e a necessidade de considerar diversos fatores que afetam a operação do sistema. Além disso, destaca-se a necessidade de envolver diversos stakeholders no processo de simulação, como empresas de transporte, autoridades locais e usuários, para garantir que as soluções propostas sejam realistas e viáveis na prática.

(CASTILHO, 1997) não aborda diretamente as dificuldades e entraves encontrados ao se aplicar mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano. No entanto, é possível inferir a partir do estudo que um dos desafios é a obtenção de dados precisos e confiáveis para a modelagem da simulação. Além disso, é importante considerar a complexidade do sistema de transporte urbano e as diversas variáveis que podem afetar o desempenho do serviço, o que pode tornar a modelagem da simulação mais complexa e requerer um maior esforço de coleta de dados. Outro desafio pode ser a validação da simulação, garantindo que as previsões geradas sejam confiáveis e possam ser utilizadas para tomada de decisão.

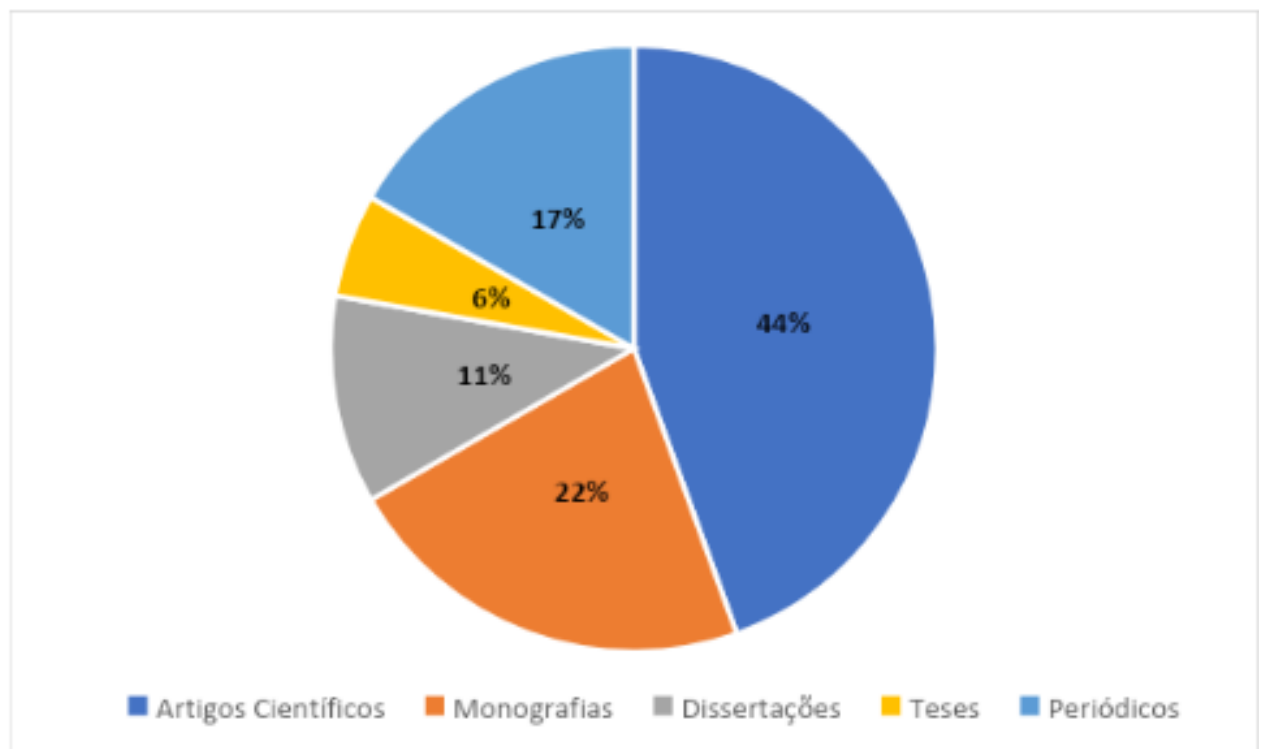
(CARMO et al., 2018) aborda algumas dificuldades e entraves encontrados na aplicação de mecanismos de simulação no sistema de transporte urbano, como a falta de dados precisos e atualizados, isso pode incluir dados sobre a demanda de passageiros, padrões de viagem, informações sobre rotas e horários de ônibus, entre outros. Sem essas informações adequadas, a simulação pode não refletir com precisão a realidade do sistema de transporte urbano em questão, a complexidade e variabilidade do tráfego urbano e a necessidade de calibração dos modelos. Mesmo que haja disponibilidade de dados, sua qualidade pode ser um problema. Dados imprecisos, incompletos ou desatualizados podem levar a resultados de simulação incorretos ou enviesados. É crucial garantir que os dados utilizados sejam confiáveis e reflitam com precisão as condições reais do sistema de transporte. Além disso, destaca a importância da integração entre os diferentes sistemas de transporte e a necessidade de considerar as características locais de cada cidade na modelagem e simulação do sistema de transporte coletivo com ônibus.

5 ANÁLISE COMPARATIVA, TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Através do método da revisão sistemática sobre a aplicação do uso da simulação na representação de sistemas de transportes coletivos urbanos, foi possível apresentar os resultados através de investigações de efeitos e benefícios da simulação nesse domínio. O objetivo da revisão foi analisar as principais abordagens de simulação utilizadas, suas vantagens e limitações, bem como identificar lacunas de pesquisa e sugerir direções futuras. Foram selecionados estudos relevantes publicados nos últimos 10 anos (2012-2022), e um total de 15 artigos foram incluídos na revisão. A maioria artigos científicos 44% e os demais, são 22% em monografias, e 11% dissertações e 17% em periódicos e os últimos 6% em teses (OLIVEIRA, 2014).

Como mostra o Gráfico 1, os dados quantitativos sobre os tipos de publicações:

Figura 7 – Gráfico 1 - Tipos de Publicações

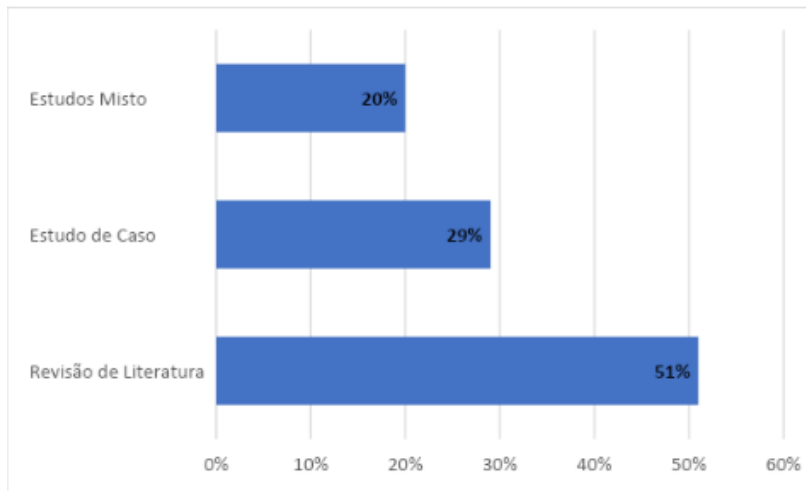


Fonte – Elaborado pelo Autor.

Entre as metodologias dos estudos, estiveram presentes revisões de literatura, narrativa e sistemática, estudos e pesquisas. Sendo a maioria revisões de literatura, com o percentual de 51%, os demais abordaram a temática por meio de estudos de caso com simulação, (29%) e os demais por meio de metodologias mistas, (20%), como mostra o Gráfico 2.

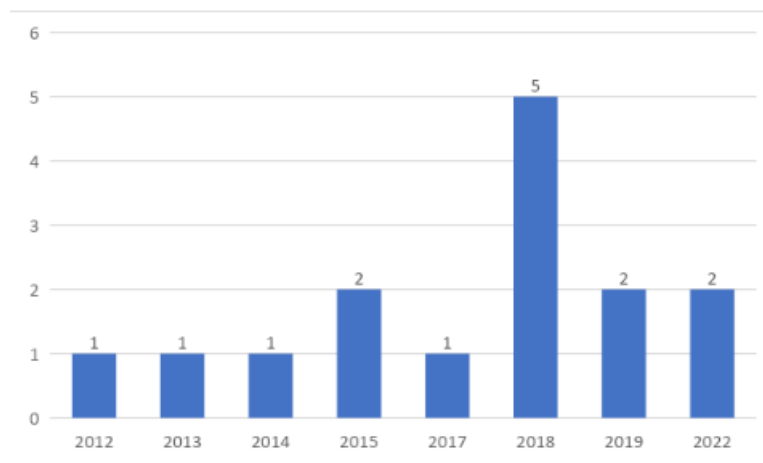
Com relação aos anos de publicação, o ano 2018 foi o que obteve o maior número de publicações e os demais, com exceção de 2015, 2019 e 2022, com menor quantitativo de publicações, mostrando interesses por parte de pesquisadores sobre a temática nos últimos 10 (dez) anos. Esses dados estão registrados no Gráfico 3 logo abaixo.

Figura 8 – Gráfico 2 - Metodologia dos Estudos



Fonte – Elaborado pelo Autor.

Figura 9 – Gráfico 3 – Quantidades de Publicações por ano (2012-2022)



Fonte – Elaborado pelo Autor.

5.1 ABORDAGENS DE SIMULAÇÃO UTILIZADAS

A simulação é amplamente utilizada para representar e analisar sistemas de transporte coletivo urbano. Essas simulações são úteis para entender o funcionamento do sistema, testar diferentes cenários e tomar decisões informadas sobre melhorias e otimizações. Existem várias abordagens de simulação que podem ser utilizadas para essa finalidade.

Alguns estudos empregaram a modelagem baseada em agentes para simular sistemas de transportes coletivos urbanos. Essa abordagem permite representar o comportamento individual dos passageiros, motoristas e operadores, considerando fatores como preferências, tomada de decisão e interação social (BRASIL, 2019; ABREU et al., 2018).

Outros estudos adotaram a simulação microscópica de tráfego para representar o fluxo de veículos e a interação com o sistema de transporte coletivo. Essa abordagem permite uma

análise detalhada do comportamento do tráfego e sua influência nos tempos de viagem e na eficiência operacional (OLIVEIRA, 2014; PAVELSKI & BERNARDINIS, 2018).

Alguns estudos utilizaram a simulação de eventos discretos para modelar o sistema de transporte coletivo, considerando eventos como chegada de passageiros, partida de veículos e atrasos. Essa abordagem permite avaliar o impacto de diferentes políticas operacionais e de controle no desempenho do sistema (CASTILHO, 2017; PEREIRA, 2019).

5.2 VANTAGENS DA SIMULAÇÃO NA REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVOS URBANOS

A simulação tem várias vantagens na representação de sistemas de transportes coletivos urbanos. Por exemplo, permite a avaliação de diferentes políticas e estratégias operacionais antes da implementação no mundo real, reduzindo os custos e os riscos associados aos testes em campo (FORMIGONI et al., 2022).

Através da simulação, é possível analisar o desempenho do sistema de transporte coletivo em termos de tempos de viagem, atrasos, lotação de veículos e satisfação dos passageiros. Isso auxilia na identificação de gargalos e na proposição de melhorias (SOLON et al., 2022).

Além disso, a simulação pode ser utilizada para prever a demanda futura do sistema de transporte coletivo, auxiliando no dimensionamento adequado da frota de veículos e na alocação de recursos (BARROS, 2015).

Silveira & Oliveira (2018) alegam que a simulação permite analisar o desempenho do sistema de transporte coletivo urbano em diferentes cenários. É possível avaliar o impacto de mudanças nas rotas, horários, capacidade, políticas de tarifas e outros elementos do sistema. Isso ajuda a identificar gargalos, pontos de estrangulamento e áreas que precisam de melhorias.

Para Oliveira (2014) através da simulação, é possível prever a demanda futura por transporte coletivo urbano. Ao considerar fatores como o crescimento populacional, mudanças nos padrões de deslocamento e desenvolvimento urbano, a simulação pode auxiliar no dimensionamento adequado da frota de veículos e na oferta de serviços de transporte.

O autor ainda cita que a simulação permite testar cenários hipotéticos sem afetar o sistema real. É possível simular o impacto de eventos imprevistos, como acidentes, condições climáticas adversas ou interrupções no serviço, e avaliar as consequências antes de implementar medidas corretivas ou preventivas (OLIVEIRA, 2014).

Outra vantagem apontada pelos autores é a possibilidade de conduzir estudos em modelos que permitam otimizar as rotas e os horários dos veículos de transporte coletivo. Os resultados, quando aplicados no sistema real, resultam em melhores resultados na redução nos tempos de viagem, melhorias na confiabilidade do serviço, redução de custos operacionais e aumento da satisfação dos usuários (MORAIS & DIGIAMPIETRI, 2018).

Para Brasil (2019) a simulação é uma ferramenta valiosa para avaliar o impacto de políticas de transporte, como a implementação de faixas exclusivas para ônibus, a introdução de sistemas de bicicletas compartilhadas ou a integração de diferentes modos de transporte. É possível simular o comportamento dos usuários e quantificar os benefícios esperados antes de implementar essas políticas.

Sem deixar de mencionar que a simulação permite a realização de experimentos virtuais em vez de experimentos reais, o que reduz os custos e os riscos envolvidos. É possível testar diferentes estratégias, cenários e soluções antes de implementá-los no mundo real, evitando assim possíveis problemas e desperdício de recursos (PAVELSKI & BERNARDINIS, 2018).

5.3 LIMITAÇÕES E LACUNAS DE PESQUISA

Desafios e dificuldades na construção e condução de modelos de simulação para representação de sistemas de transporte de passageiros também são relatados pelos autores. Embora não sejam exclusivos desta finalidade, são discutidos nesta perspectiva. Por exemplo:

- Dificuldades na coleta de dados precisos: A simulação depende de dados precisos e atualizados sobre o sistema de transporte coletivo, como fluxo de passageiros, rotas e horários. A falta de dados confiáveis ainda é uma limitação enfrentada por muitos estudos (CASTILHO, 2017).
- Integração com outras áreas: A simulação de sistemas de transporte coletivo pode se beneficiar da integração com outras áreas, como aprendizado de máquina e inteligência artificial. A utilização de técnicas avançadas pode melhorar a precisão e a eficácia das simulações (PEREIRA, 2019).
- Avaliação do impacto ambiental: Poucos estudos abordaram a avaliação do impacto ambiental das operações do sistema de transporte coletivo. Essa é uma área importante que merece mais atenção em pesquisas futuras (PAVELSKI & BERNARDINIS, 2018).

Com base em alguns estudos, a simulação microscópica é especialmente adequada para uma análise detalhada do fluxo de veículos e sua interação com o transporte coletivo em sistemas de transporte urbano. Essa abordagem permite investigar os impactos das condições de tráfego, como congestionamentos e acidentes, nos tempos de viagem e na eficiência operacional dos sistemas de transporte (SOLON et al., 2022; PEREIRA, 2019).

A simulação microscópica modela individualmente cada veículo e usuário, levando em consideração fatores como velocidade, aceleração, comportamento do motorista/operador e interações entre veículos (TITO, 2013). Com essa representação detalhada, é possível analisar o comportamento do tráfego em situações realistas e estudar os efeitos das condições adversas (CORREIA et al., 2022).

Ao simular cenários de tráfego congestionado, por exemplo, é possível observar como os atrasos se propagam ao longo do sistema de transporte coletivo urbano. Pode-se avaliar o impacto dessas situações nos tempos de viagem dos passageiros, na regularidade dos serviços e na eficiência geral do sistema (CARMO et al., 2018). Além disso, a simulação microscópica permite testar diferentes estratégias de gestão de tráfego e operação, como ajustes nos semáforos, priorização de veículos de transporte coletivo ou realocação de rotas, para avaliar sua eficácia na mitigação de congestionamentos e melhoria do desempenho do sistema (LINDAU et al., 2015).

Essa abordagem de simulação também é valiosa para estudar os impactos de acidentes de trânsito. Ao simular diferentes tipos de acidentes e seus efeitos na rede viária, é possível quantificar os atrasos, desvios de rota e impactos nos tempos de viagem dos usuários do transporte coletivo. Isso ajuda a identificar pontos críticos, onde acidentes frequentes podem causar perturbações significativas no sistema, e a desenvolver estratégias de prevenção ou mitigação (BARROS, 2015).

Assim, a simulação microscópica oferece uma análise detalhada e realista dos impactos das condições de tráfego, como congestionamentos e acidentes, nos tempos de viagem e na eficiência operacional dos sistemas de transporte coletivo urbano. Essa abordagem permite investigar diferentes cenários e tomar decisões informadas sobre melhorias e otimizações para o sistema de transporte.

Por outro lado, a simulação de eventos discretos é uma abordagem adequada e amplamente utilizada na representação de sistemas de transporte coletivo. Essa modalidade de simulação permite modelar eventos específicos que ocorrem no sistema, como a chegada de passageiros às paradas, a partida de veículos, os atrasos e outras interações relevantes (BRASIL, 2019; ABREU et al., 2018).

Uma das principais vantagens da simulação de eventos discretos é a capacidade de capturar o comportamento dinâmico do sistema ao longo do tempo, levando em consideração eventos individuais e suas interações. Com isso, é possível analisar o impacto de diferentes políticas operacionais e de controle no desempenho do sistema de transporte coletivo (CASTILHO, 2017).

Por exemplo, ao simular o escalonamento de horários dos veículos, é possível avaliar como essa estratégia afeta o tempo de espera dos passageiros, a regularidade dos serviços e a eficiência geral do sistema (OLIVEIRA, 2014). A simulação permite ajustar parâmetros como intervalos de tempo entre veículos, tempo de parada em cada ponto e velocidades médias, para explorar diferentes cenários e determinar as melhores políticas de operação (PEREIRA, 2019).

Da mesma forma, a distribuição de recursos, como a alocação de veículos em rotas específicas, pode ser avaliada por meio da simulação de eventos discretos. Essa abordagem permite identificar gargalos, otimizar a utilização dos recursos disponíveis e analisar os impactos dessas decisões na capacidade de atendimento, no tempo de viagem e na qualidade do serviço (SILVEIRA & OLIVEIRA, 2018).

Além disso, a simulação de eventos discretos também pode considerar outros fatores

relevantes, como variações sazonais na demanda, atrasos devido a congestionamentos de tráfego, acidentes e outras ocorrências imprevistas (BRASIL, 2019).

Assim, a simulação de eventos discretos é uma abordagem útil para representar sistemas de transporte coletivo, permitindo a modelagem de eventos específicos e a avaliação de diferentes políticas operacionais e de controle. Essa modalidade de simulação ajuda a compreender o comportamento dinâmico do sistema ao longo do tempo e a tomar decisões informadas para melhorar o desempenho e a eficiência do sistema de transporte coletivo.

Esta revisão sistemática destaca a aplicação da simulação na representação de sistemas de transportes coletivos urbanos como uma ferramenta promissora para a análise e melhoria do desempenho operacional. As diferentes abordagens de simulação oferecem vantagens significativas, permitindo a avaliação de políticas e estratégias, análise de desempenho e previsão de demanda. No entanto, algumas limitações e lacunas de pesquisa ainda precisam ser abordadas, como a coleta de dados precisos e a integração com outras áreas. Pesquisas futuras nesses aspectos podem contribuir para avanços significativos na modelagem e simulação de sistemas de transportes coletivos urbanos.

5.4 DISCUSSÃO: DESAFIOS E TENDÊNCIAS

A revisão sistemática evidenciou que a simulação é uma ferramenta poderosa na representação de sistemas de transportes coletivos urbanos. As abordagens de modelagem baseadas em agentes, simulação microscópica de tráfego e simulação de eventos discretos foram amplamente utilizadas nos estudos selecionados, demonstrando sua eficácia na análise do comportamento dos passageiros, motoristas e operadores, bem como na interação com o tráfego.

A modelagem baseada em agentes permitiu uma representação mais realista do comportamento individual dos atores envolvidos no sistema de transporte coletivo, considerando suas preferências e tomadas de decisão. Essa abordagem é especialmente relevante para a compreensão das dinâmicas sociais e comportamentais que influenciam o desempenho do sistema (BRASIL, 2019).

Perante a revisão dos artigos que contemplaram conceitos de simulação microscópica, há constatação nos resultados dos trabalhos de que esta metodologia favorece uma análise detalhada de, por exemplo, fluxo de veículos e sua interação com o transporte coletivo. Através dessa abordagem, é possível investigar os impactos das condições de tráfego, como por exemplo, congestionamentos e acidentes, nos tempos de viagem e na eficiência operacional dos sistemas de transporte.

Uma das principais vantagens da simulação é a possibilidade de avaliar políticas e estratégias operacionais antes da implementação no mundo real. Isso reduz os custos e riscos associados a experimentos em campo, permitindo a análise de diferentes cenários e a seleção das melhores abordagens (BARROS, 2015).

A análise de desempenho dos sistemas de transporte coletivo, por meio da simulação,

revelou-se fundamental para identificar gargalos e propor melhorias. Através da simulação, foi possível analisar tempos de viagem, atrasos, lotação de veículos e satisfação dos passageiros, fornecendo informações valiosas para o planejamento e otimização dos sistemas (PEREIRA, 2019).

A simulação também se mostrou útil na previsão de demanda futura do sistema de transporte coletivo. Ao utilizar dados históricos e padrões de comportamento, foi possível dimensionar adequadamente a frota de veículos e otimizar a alocação de recursos, evitando superlotação ou subutilização dos mesmos (CASTILHO, 2017). No entanto, a revisão sistemática identificou algumas limitações e lacunas de pesquisa. A coleta de dados precisos e atualizados ainda é um desafio, pois a simulação depende de informações confiáveis sobre o sistema de transporte, como fluxo de passageiros, rotas e horários. É necessário desenvolver métodos eficientes de coleta e integração de dados para aprimorar a precisão das simulações.

Além disso, há espaço para a integração da simulação de sistemas de transporte coletivo com outras áreas, como aprendizado de máquina e inteligência artificial. A utilização de técnicas avançadas pode melhorar a precisão das previsões, a modelagem de comportamentos complexos e a tomada de decisões mais inteligentes. Por fim, a avaliação do impacto ambiental das operações do sistema de transporte coletivo foi pouco abordada nos estudos analisados. Essa é uma área importante que merece maior atenção em pesquisas futuras, visando a sustentabilidade e redução dos impactos ambientais associados ao transporte urbano.

Os autores afirmam que o uso da simulação no estudo ou projeto de sistemas de transporte urbano apresenta várias vantagens. Eles destacam que a simulação permite a análise de diferentes cenários e a avaliação dos impactos de intervenções ou políticas antes de sua implementação no mundo real. Isso reduz os custos e os riscos associados a experimentos em grande escala e permite tomar decisões mais informadas (GONÇALVES DE BARROS, 2005).

Além disso, a simulação oferece a capacidade de modelar a interação complexa entre os diversos elementos de um sistema de transporte urbano, como veículos, infraestrutura, demanda de passageiros, condições de tráfego, entre outros. Essa abordagem holística permite uma compreensão mais profunda do sistema e ajuda a identificar possíveis problemas ou gargalos, bem como a propor soluções mais eficientes (OLIVEIRA, 2014).

Quanto às perspectivas dos autores sobre o crescimento do uso de simulação no estudo ou projeto de sistemas de transporte urbano, eles tendem a ser otimistas. Eles acreditam que, à medida que a tecnologia de simulação continua a avançar, tornando-se mais acessível e fácil de usar, haverá um aumento na adoção dessa abordagem em diferentes contextos.

No entanto, para que o uso da simulação seja ampliado, os autores destacam algumas hipóteses de pesquisa que podem ser exploradas em estudos futuros. Essas hipóteses têm o potencial de contribuir para o aumento do uso da simulação para o estudo ou projeto de sistemas de transporte urbano.

Algumas dessas tendências incluem:

- Desenvolvimento de modelos mais realistas: Os autores sugerem que o aprimoramento

dos modelos de simulação, considerando aspectos mais detalhados e realistas do sistema de transporte urbano, pode aumentar a confiabilidade e a precisão das análises (GONÇALVES DE BARROS, 2005).

- Integração de dados em tempo real: A incorporação de dados em tempo real, provenientes de sensores e dispositivos conectados, pode melhorar a capacidade da simulação de refletir condições dinâmicas e fornecer respostas mais atualizadas (GONÇALVES DE BARROS, 2005).
- Inclusão de elementos comportamentais: Considerar o comportamento dos usuários do sistema, como suas preferências de viagem e escolhas modais, pode ajudar a entender melhor os padrões de demanda e otimizar o design do sistema de transporte (GONÇALVES DE BARROS, 2005).
- Avaliação de impactos ambientais: A simulação pode ser utilizada para avaliar os impactos ambientais de diferentes estratégias de transporte urbano, como a redução de emissões de gases de efeito estufa ou a melhoria da qualidade do ar. Essa análise pode auxiliar na tomada de decisões sustentáveis (GONÇALVES DE BARROS, 2005).
- Exploração de técnicas avançadas de simulação: A aplicação de técnicas de simulação mais avançadas, como simulação baseada em agentes ou aprendizado de máquina, pode fornecer visão adicionais e melhorar a precisão das previsões (GONÇALVES DE BARROS, 2005).

Essas hipóteses de pesquisa refletem algumas das direções que os autores consideram promissoras para futuros estudos visando aumentar o uso da simulação no estudo ou projeto de sistemas de transporte urbano.

Assim, os resultados desta revisão sistemática ressaltam a importância e eficácia da simulação na representação de sistemas de transportes coletivos urbanos. As abordagens de simulação oferecem vantagens significativas na avaliação de políticas operacionais, análise de desempenho e previsão de demanda. No entanto, é necessário superar desafios relacionados à coleta de dados precisos, explorar a integração com outras áreas e investigar mais a fundo o impacto ambiental das operações do sistema. Esses avanços podem contribuir para aprimorar o planejamento, operação e gestão dos sistemas de transporte coletivo, resultando em um transporte mais eficiente, sustentável e satisfatório para os usuários.

As pesquisas futuras devem explorar a capacidade da simulação de analisar cenários futuros e seu impacto no sistema de transporte urbano. Isso inclui considerar mudanças demográficas, avanços tecnológicos, políticas de transporte e outros fatores que possam influenciar a demanda e o desempenho do sistema.

Diferentes abordagens de simulação, como simulação baseada em agentes, simulação macroscópica e simulação microscópica, têm sido utilizadas para estudar sistemas de transporte

urbano. Um desafio é desenvolver métodos de integração dessas abordagens, aproveitando suas vantagens e permitindo uma análise abrangente e detalhada do sistema.

A obtenção de dados em tempo real é essencial para melhorar a precisão e a confiabilidade das simulações. No entanto, a integração de dados em tempo real provenientes de várias fontes, como sensores de tráfego, dispositivos móveis e sistemas de bilhetagem, apresenta desafios técnicos. É necessário desenvolver métodos eficientes de coleta, processamento e integração desses dados em modelos de simulação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizamos um levantamento das soluções disponíveis para a simulação de transporte coletivo urbano por ônibus. No entanto, é importante ressaltar que não abordamos todas as questões relacionadas à simulação de sistemas de transporte. O objetivo deste estudo foi estabelecer uma revisão sistemática de simulações envolvendo o transporte urbano.

A simulação é uma ferramenta valiosa na representação de sistemas de transporte coletivo urbano, oferecendo uma série de vantagens para a análise, planejamento e melhoria desses sistemas. A revisão dos artigos sobre o uso da simulação nesse contexto demonstrou que diferentes abordagens, como a simulação microscópica e a simulação de eventos discretos, têm sido amplamente adotadas e mostraram-se apropriadas para a representação detalhada e a análise do desempenho desses sistemas.

A simulação microscópica permite uma análise detalhada do fluxo de veículos e sua interação com o transporte coletivo, possibilitando investigar o impacto de condições de tráfego, como congestionamentos e acidentes, nos tempos de viagem e na eficiência operacional dos sistemas. Essa abordagem permite a exploração de diferentes cenários, testando estratégias de gestão de tráfego, ajustes de horários e outras políticas operacionais. Além disso, a simulação de eventos discretos permite a modelagem de eventos específicos que ocorrem no sistema, como a chegada de passageiros e a partida de veículos, sendo útil para avaliar o impacto de diferentes políticas operacionais e de controle, como o escalonamento de horários e a distribuição de recursos.

Por meio dessas abordagens de simulação, é viável realizar análises do desempenho do sistema de transporte coletivo urbano, prever a demanda futura, testar cenários hipotéticos, otimizar rotas e horários, avaliar políticas de transporte, bem como reduzir custos e riscos. A simulação proporciona uma representação realista e dinâmica do sistema, possibilitando uma compreensão mais aprofundada de seu funcionamento e estabelecendo uma base sólida para a tomada de decisões embasadas.

No entanto, é importante destacar que a escolha da abordagem de simulação e a sua aplicação devem ser feitas de forma cuidadosa, levando em consideração as características e objetivos específicos do sistema de transporte coletivo em questão. Além disso, a validação dos modelos de simulação e a consideração de dados reais são fundamentais para garantir a confiabilidade dos resultados e a aplicabilidade das conclusões obtidas por meio da simulação.

A simulação desempenha um papel fundamental na representação dos sistemas de transporte coletivo urbano, proporcionando uma perspectiva detalhada e dinâmica de como esses sistemas funcionam. Com suas vantagens em análise de desempenho, previsão de demanda, teste de cenários, otimização de rotas e horários, avaliação de políticas de transporte, além da redução de custos e riscos, a simulação se torna uma ferramenta indispensável para o planejamento e a

melhoria contínua dos sistemas de transporte coletivo urbano.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Sugerimos que o trabalho aqui apresentado seja continuado, pelos resultados adequados observados e pelas lacunas identificadas na revisão da literatura a respeito de softwares que atendam aos requisitos .

Com aplicação de simulações, é desejável que seu objeto, isto é o corredor ou sistema de ônibus selecionado, tenha extensão maior do que o trecho selecionado para este estudo. Neste caso houve alguma limitação da licença disponível no software utilizado, mas, de qualquer maneira, será interessante trabalhar com trechos mais longos de corredor.

Criar modelos de otimização visando melhorar o cenário atual do transporte público. Outra opção é explorar a possibilidade de uma melhor descrição da rede variável no tempo, que poderia incluir incidentes de trânsito, semáforos, faixa de pedestre, lombadas e até mesmo uma melhor diferenciação das vias por pavimento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Victor Hugo Souza de et al. SIMULAÇÃO APLICADA A UM TERMINAL DE PASSAGEIROS: RELAÇÃO ENTRE DESISTÊNCIA DE REALIZAÇÃO DA VIAGEM E FREQUÊNCIA DE ATENDIMENTO AOS USUÁRIOS. **Revista Uniabeu**, v. 11, n. 29, p. 404–422, 2018.
- BANKS, Jerry; CARSON II, John S; BARRY, L et al. **Discrete-event system simulation fourth edition**. [S.l.]: Pearson, 2005.
- BRASIL, Lorena Gonçalves. Análise do desempenho do transporte público responsivo à demanda por meio de simulação multiagente baseada em atividades, 2019.
- CAMPOS, Vânia Barcellos Gouvêa. **Planejamento de transportes: conceitos e modelos**. [S.l.]: Editora Interciência, 2013.
- CARMO, Welton Cardoso do et al. Modelagem e simulação de sistemas de transporte coletivo com ônibus: um estudo de caso em Goiânia-GO. Universidade Federal de Goiás, 2018.
- CASTILHO, Rodrigo Alberto de. Análise e simulação da operação de ônibus em corredores exclusivos, 1997.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. [S.l.]: Afonso C. Medina, 2006.
- CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, SL da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **Trabalho apresentado**, v. 8, 2011.
- FERRAZ, Antonio Clovis Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **Transporte público urbano**. [S.l.]: RiMa Editora, 2001.
- FORMIGONI, Alexandre et al. SIMULAÇÃO PARA MELHORIA DAS FALHAS EM UMA LINHA DE ÔNIBUS, UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**, v. 10, n. 1, p. 507–521, 2022.
- FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. [S.l.]: Visual Books, 2001.
- GAVIRA, Muriel de Oliveira. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- GONÇALVES DE BARROS, Paulo. **ITRANS Simulador de trânsito 3D**. 2005. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
- HILLIER, Frederick S; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2013.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with ARENA**. 2004. Disponível em: <http://www.mrs.com.br>. Acesso em: 5 jun. 2011.

OLIVEIRA, Juliana Linder de. Verificação da qualidade da representação do tráfego no simulador Aimsun a partir de metodologia de calibração, 2014.

PAVELSKI, Luziane Machado; BERNARDINIS, Marcia de Andrade Pereira. Modelo Simplificado de Simulação por Cenários Aplicados ao Gerenciamento de Transporte Público por Ônibus. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 4, n. 1, p. 21–30, 2018.

PEREIRA, Arnaldo Luis Santos. **Intervenções operacionais visando a regularidade e a eficiência de sistemas de ônibus urbanos: resenha de estudos acadêmicos e simulações de aplicações com dados reais**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

PEREIRA, Carla Roberta. Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe. Universidade Federal de São Carlos, 2011.

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, SciELO Brasil, v. 11, p. 83–89, 2007.

SCHRIBER, Thomas J. **Simulation using GPSS**. [S.l.], 1974.

SILVEIRA, Hugo Ribeiro da; OLIVEIRA, Mário Jorge Ferreira de. A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO DIMENSIONAMENTO DE FROTAS PARA O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.

SOLON, Alexsandro Silva et al. Aplicação da logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus. Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

TAVARES, Igor Juvencio Siqueira. Potencial de uso de ferramentas de simulação computacional para auxílio ao projeto do canteiro de obras. Universidade Federal da Bahia, p. 72–73, 2011.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas**. [S.l.]: Annablume, 2001.