

---

# MODELO SIMPLIFICADO DE SIMULAÇÃO POR CENÁRIOS APLICADOS AO GERENCIAMENTO DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS\*

---

Luziane Machado Pavelski, Marcia de Andrade Pereira Bernardinis

*Resumo: o principal objetivo dessa pesquisa consiste em verificar a efetividade do uso de simulações por meio do software de modelagem Arena como uma alternativa para trabalhar a melhoria contínua no processo de gestão de linhas de transporte urbano público por ônibus. Para isso foi realizada uma coleta de dados reais em uma linha de ônibus na cidade de Curitiba que foram modelados no software Arena de modo simplificado para, posteriormente, criar outros três cenários a partir de dados hipotéticos, possibilitando assim antever se realizar aquele cenário traz ou não benefícios, economizando recursos e evitando que alterações prejudiciais sejam concretizadas. Os resultados demonstram que apesar da simplicidade do modelo adotado ele tem potencial para contribuir positivamente, a partir dos cenários hipotéticos e simulação das consequências oriundas de cada situação, trata-se de uma ferramenta interessante dentro processo de gerenciamento.*

Palavras-chave: *Software Arena. Transporte público. Ônibus.*

## SIMPLIFIED MODEL OF SIMULATION BY SCENARIOS APPLIED TO THE MANAGEMENT OF PUBLIC TRANSPORT BY BUSES

*Abstract: the main objective of this research is to verify the effectiveness of the use of simulations through Arena modeling software as an alternative to work on continuous improvement in the process of managing public urban transport lines by bus. For this, a real data collection was performed on a bus line in the city of Curitiba, which was modeled in the Arena software in a simplified way and later to create three other scenarios based on hypothetical data, thus making it possible to predict whether or not that scenario has benefits, saving resources and preventing harmful changes from being made. The results show that despite the simplicity of the adopted model it has the potential to contribute positively, from the hypothetical scenarios and simulation of the consequences of each situation, it is an interesting tool within the management process.*

Keywords: *Software Arena. Public Transport. Bus.*

## MODELO SIMPLIFICADO DE SIMULACIÓN POR CENARIOS APLICADOS A LA GESTIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO POR AUTOBUS

Resumen: *el principal objetivo de esta investigación consiste en verificar la efectividad del uso de simulaciones a través del software de modelado Arena como una alternativa para trabajar la mejora continua en el proceso de gestión de líneas de transporte urbano público por autobús. Para ello se realizó una recolección de datos reales en una línea de autobuses en la ciudad de Curitiba que fueron modelados en el software Arena de modo simplificado para posteriormente crear otros tres escenarios a partir de datos hipotéticos, posibilitando así prever si realizar ese escenario trae o no beneficios, ahorrando recursos y evitando que se produzcan cambios perjudiciales. Los resultados demuestran que a pesar de la simplicidad del modelo adoptado tiene potencial para contribuir positivamente, a partir de los escenarios hipotéticos y simulación de las consecuencias oriundas de cada situación, se trata de una herramienta interesante dentro del proceso de gestión.*

Palabras clave: *Software Arena. Transporte Público. Autobús.*

## O PAPEL DA MOBILIDADE URBANA

Segundo o Ministério das Cidades (2015), a mobilidade urbana é fator determinante na qualidade de vida dos cidadãos. O modelo de circulação de cargas e pessoas dentro do espaço urbano influencia a distribuição logística de produtos, a saúde, a produtividade da população e suas oportunidades, tendo, por isso, grande impacto no desenvolvimento econômico do país. Os fluxos de mobilidade representam a dinâmica-chave da urbanização, que associada à infraestrutura compõem a espinha dorsal da forma urbana. Contudo, os países em desenvolvimento têm tido dificuldades de enfrentar os desafios provenientes da demanda crescente por mobilidade (PINHEIRO, 2016).

A mobilidade urbana, portanto, tem papel essencial nos deslocamentos de pessoas e produtos. Ela possibilita as atividades comerciais, educacionais, recreativas e industriais, possuindo grande relevância no desenvolvimento social e econômico das cidades. A obrigatoriedade das políticas referentes ao transporte público pode ser observada no Estatuto da Cidade:

A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretriz geral fixadas em lei tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes (SENADO FEDERAL, 2004).

Com a constante necessidade de desenvolver formas de aperfeiçoar o transporte público, como instrumento de planejamento urbano capaz de melhorar a qualidade de vida das pessoas e também de tornar a cidade mais sustentável, qualquer intervenção que venha impactar positivamente nesse ciclo deve ser observada com atenção.

No Brasil, assim como nos demais países em desenvolvimento, os ônibus costumam ser o mais importante meio de transporte. Em seguida, estão o trem e o metrô, veículos com capacidade bem maiores e bem menos poluentes (VASCONCELLOS, 2012).

A presente pesquisa visa testar a viabilidade de se utilizar a simulação de cenários, ferramenta conhecida em gerenciamento de projetos que trabalham a melhoria contínua com objetivo de agregar informações na tarefa de gerir as linhas de transporte público por ônibus.

## FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO TRANSPORTE PÚBLICO

O modelo do transporte público é fundamental ao desenvolvimento sustentável das cidades. O aumento da atratividade desse modelo produz acentuados benefícios à economia e ao meio ambiente e, por consequência, à qualidade de vida das pessoas (GEHL, 2013). Surge, nesse ponto, a importância de investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias, que visem a melhoria e a eficiência dos recursos já existentes. Segundo Ferraz (2004), pode ser traçada uma relação direta entre a evolução tecnológica dos meios de transporte e o desenvolvimento dos núcleos urbanos.

Nessa linha de pensamento, e com os constantes avanços tecnológicos, é comum o aparecimento de novas ferramentas que atuam no campo do planejamento. Inicialmente os computadores tinham valor por sua capacidade de processamento, porém, com o desenvolvimento de novas funções, outras possibilidades se apresentaram e incorporaram o processo de gerenciamento do transporte público. Desse modo, as ferramentas computacionais necessárias para a execução de inúmeras atividades referentes ao processo de planejamento são reunidas em programas computacionais, que normalmente são baseados em plataformas SIG- Sistema de informação geográfica.

Há uma escassez de programas específicos para o planejamento de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, e isso leva ao uso de programas mais complexos que, por fim, não são utilizados na totalidade de sua capacidade. Esse fato tem impulsionado pesquisadores a experimentar ferramentas usadas em outras áreas, por exemplo, Solon (2012) com o *software* Arena, e Arbex (2015) com os algoritmos genéticos, que são bastante difundidos em outras áreas, além dos transportes.

Por ser um *software* amplamente usado em outras áreas, inclusive no transporte e na roteirização de veículos de carga e entrega de empresas dos mais variados setores, e também já possuir certa similaridade com a pesquisa, que trata de transporte público por ônibus, é um *software* de licença gratuita para estudantes, permitindo sua fácil difusão no meio acadêmico. O Arena é comercializado no Brasil pela Paragon (2018), que disponibiliza a versão gratuita do *software* para estudantes.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para testar a eficácia do *software* Arena na gestão de linhas de ônibus foi realizado um estudo de caso. Desse modo, primeiramente, foi eleita uma linha de ônibus da cidade de Curitiba que será identificada como “Linha A”, para ser modelada no *software*. Com base na modelagem foram geradas, além da situação real, mais três simulações para que pudessem ter seus resultados comparados. A pesquisa foi desenvolvida conforme a sequência de atividades listadas a seguir:

- a) Coleta de informações;
- a) Esboço da pesquisa;
- b) Estudo de caso e cenários hipotéticos;
- c) Análise de dados obtidos e
- d) Conclusão;

### Coleta das Informações

A escolha da linha de ônibus se deu pelo fato dela ser uma das que compõem os eixos estruturais do transporte público na cidade de Curitiba e também por ela transportar diariamente um volume importante de passageiros. Os dados sobre o total de paradas para a linha foi obtido através do site da Urbanização de Curitiba S/A (URBS) (2018), companhia de economia mista responsável pela administração do transporte público na cidade de Curitiba. Por último, foram realizadas medições em campo, relativas ao tempo de viagem de ida e de volta do percurso da linha estudada, sendo estabelecido um tempo médio a partir de três medições em cada sentido.

Para a modelagem foram selecionados alguns parâmetros importantes na programação de uma linha de transporte público. São eles: o número de veículos circulando simultaneamente na linha; o número de viagens completas realizadas e o tempo de espera dos usuários, medido pelo intervalo de espera entre a passagem de um veículo e o próximo.



Figura 1: Parâmetros selecionados para a modelagem  
Fonte: a autora (2018).

### O impacto das informações selecionadas:

- I. Número de veículos em operação na linha: tem um alto impacto nos custos, pois seu uso está atrelado à disponibilidade de motorista para operação;
- II. Número de viagens: tem um impacto médio nos custos e também, com relação ao tempo de espera do usuário, é um dos parâmetros para medir o conforto;
- III. Tempo de espera: deve ser o menor possível.

Para a modelagem inicial foram necessárias as seguintes informações, apresentadas abaixo em minutos:

Tabela 1: Dados coletados “Linha A”

LINHA “A”	Tempo de espera do usuário	Tempo de ciclo de ida	Tempo de ciclo de volta
Situação real	14	53	57

Fonte: elaboração da autora (2018).

### Esboço do Projeto

Foi realizada a modelagem das informações reais no *software* e, posteriormente, elaborada uma série de cenários hipotéticos, a partir da alteração dos dados reais. O objetivo é comparar as consequências de mudanças a partir de cenários virtuais. Foi usado para tal finalidade um modelo simplificado em que os parâmetros de entrada podem ser alterados, gerando situações hipotéticas. A análise comparativa entre as consequências de alterações nos dados permite verificar se a mudança pode ser benéfica ou não, auxiliando a tomada de decisões do gestor.

### Estudo de caso – “Linha A” em Curitiba

O *software* possui uma série de recursos, porém, para esse trabalho, foram utilizadas suas funções básicas, dado que se adotou a opção de simplificar o modelo e facilitar, assim, o seu uso. Definida a linha, o passo seguinte foi a modelagem dela em função de tempo de trajeto, tempo de espera do usuário, veículos em uso e quantidade de viagens realizadas em um dia no *software* de modelagem e simulação Arena. Feito isso, com base na situação real da programação da linha, o passo seguinte foi simular modificações nos parâmetros iniciais e verificar se a mudança proposta tinha algum benefício a oferecer, que justificasse sua implementação.

O uso do programa baseia-se na construção de um modelo lógico matemático que representa a dinâmica do sistema. A modelagem é realizada com objetos orientados visualmente, não sendo preciso realizar a digitação na linguagem de programação. Segundo Solon (2012), o *software* visualiza o sistema a ser modelado como sendo formado por um conjunto de estações de trabalho, que prestam serviços a clientes ou entidades que se movimentam no sistema. Com base nisso, inseriu-se o módulo “*Create*” para sinalizar o início da linha.

Na sequência, foi necessário configurar a função. Com dois cliques sobre o módulo, foi aberta a aba de propriedades e, em “*Value*”, foi incluído o tempo de 14 minutos, que corresponde ao intervalo entre os ônibus que passam em cada ponto.

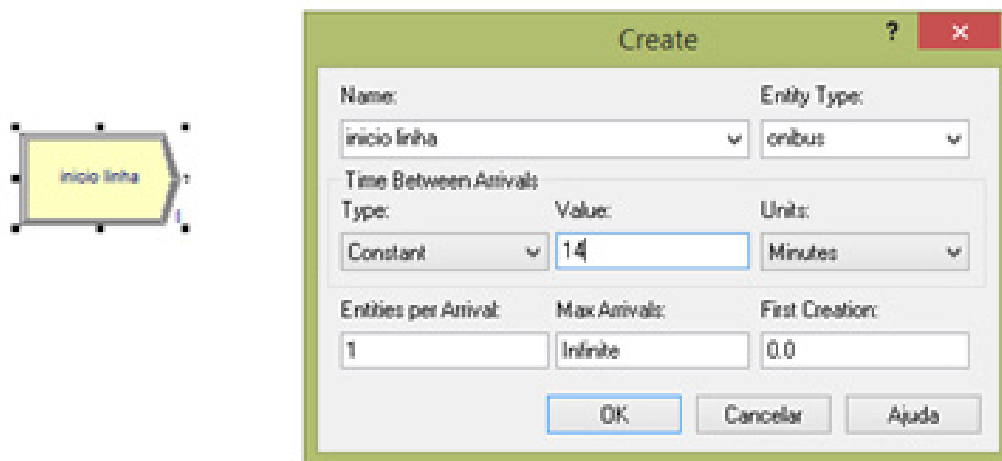


Figura 2: Configuração *Create*  
 Fonte: elaboração da autora (2018).

O próximo elemento inserido no modelo simplificado foi o “*Process*”. No caso específico desse trabalho, essa função está relacionada ao ciclo de tempo de ida e volta do veículo, até completar uma viagem completa. Foi considerado que os tempos de ida e volta são constantes, com base nas informações sobre a “Linha A”, e com duração estimada em cinquenta e três minutos na ida, e cinquenta e sete minutos no retorno.

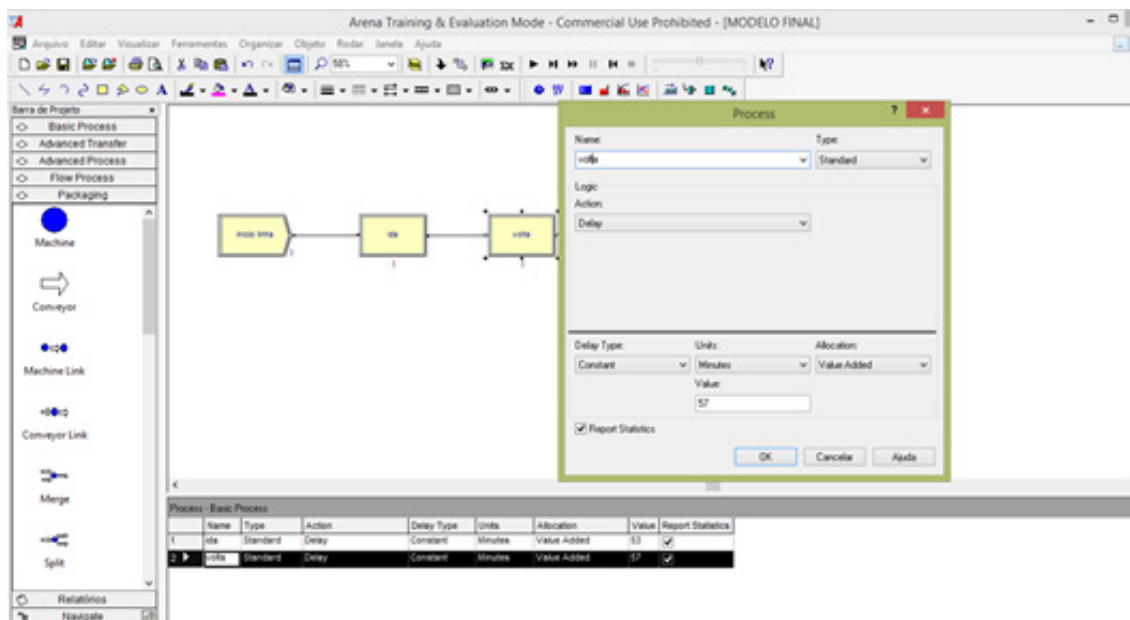


Figura 3: *Process*, ida e volta  
 Fonte: elaboração da autora (2018).

Por último, foi acrescentado o módulo “*Dispose*”, a fim de identificar o final e o encerramento do processo.

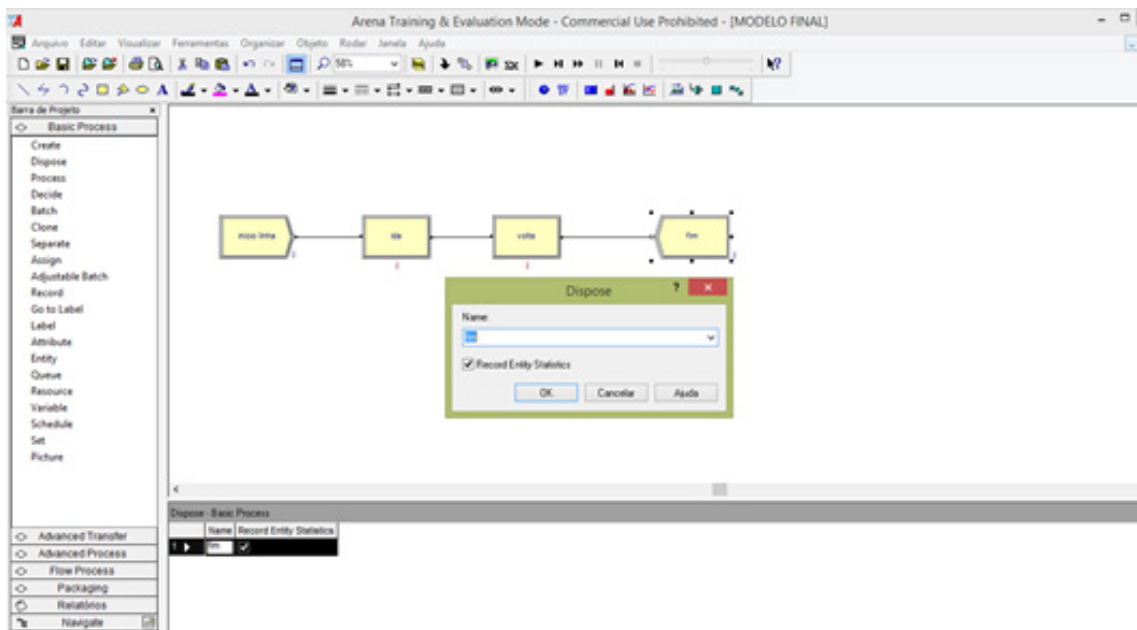


Figura 4: Módulo *Dispose*  
 Fonte: elaboração da autora (2018).

Foi configurado o tempo durante o qual o ciclo do ônibus, de ida e de volta, se repete com base no tempo de funcionamento da linha, que foi de dezessete horas por dia (o que é equivalente a mil e vinte minutos por dia). Para o cenário configurado com informações reais, o relatório gerado pelo *software* Arena foi o seguinte:

Other Time		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
onibus		0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
onibus		110.00	(Insufficient)	110.00	110.00
Other					
Number In		Value			
onibus		73.0000			
Number Out		Value			
onibus		66.0000			
WIP		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
onibus		7.4882	(Insufficient)	0.00	8.0000

Figura 5: Relatório cenário real  
 Fonte: elaboração da autora (2018).

Do relatório resultam as seguintes informações: são realizadas sessenta e seis viagens completas por dia e são iniciadas setenta e três. Então, durante a última viagem, sete ônibus estão no meio do caminho quando chega a hora de recolher. Com a média necessária, “*Average*”, igual a 6,4882, percebe-se que são necessários no mínimo oito veículos atuando simultaneamente para cobrir o circuito, intervalados de 14 em 14 minutos.

## Cenários Hipotéticos

- a) *Cenário 1*: Diminuição do tempo de espera do usuário para 12 minutos;
- b) *Cenário 2*: Sabendo-se que é possível adicionar apenas mais um veículo ao roteiro, devido aos custos, e que é possível, através de reprogramação semafórica, diminuir o tempo de ida e volta dos ônibus, determinar quantos minutos são necessários diminuir, no percurso total, para manter a mesma frota atendendo os usuários de 12 em 12 minutos;
- c) *Cenário 3*: A empresa pode trabalhar com o intervalo de espera do usuário de até 15 minutos.

Tabela 2: Resultados obtidos nos relatórios

Versão	Tempos de espera do usuário	Quantidade de ônibus para atender o intervalo de espera	Número de viagens completas
Situação real	14	7	61
Cenário 1	12	9	76
Cenário 2	12	8	77
Cenário 3	15	7	61

Fonte: elaboração da autora (2018).

A partir da elaboração do modelo computacional para essa linha, através do *software* Arena (versão estudante), foram realizadas simulações de alterações na estrutura da programação na linha de ônibus para averiguar o comportamento em situações variadas.

- a) *Cenário 1*: Foi reduzido de 14 minutos (situação real) para 12 minutos, o intervalo de espera dos usuários pelo veículo, e mantido 110 minutos o tempo total de percurso, incluindo a ida e a volta. Como resultado, seria necessário aumentar de 7 para 9 os veículos em circulação na linha;
- b) *Cenário 2*: Foram mantidos os 12 minutos no tempo de espera do usuário pelo veículo e diminuído para 100 minutos o tempo total de percurso da linha. Comparando com o cenário real, seria necessário, apesar da diminuição no tempo do percurso total, ainda assim, aumentar um veículo na linha;
- c) *Cenário 3*: O tempo de espera do usuário foi estendido para 15 minutos e o tempo de percurso foi mantido conforme o real, de 110 minutos. Não apresentando ganho significativo, dado que, apesar do aumento do tempo de espera, o número de veículos continua igual à situação real.

Analisando os resultados, o cenário real foi o que apresentou os melhores resultados nos dois aspectos verificados. Isso contradiz o senso comum de que quando o tempo de espera do usuário aumenta, automaticamente diminui-se o número de veículos em circulação, tornando menos onerosa a manutenção do funcionamento da linha.



Se a mudança não for uma demanda obrigatória, não seria vantajoso para empresa realizar nenhuma alteração. Nota-se que o tempo de espera de 12 minutos exige 9 ônibus, dois veículos a mais em circulação do que a situação real. Diminuindo o tempo total do percurso com medidas, como a reprogramação dos semáforos, é possível baixar para 8 o número de veículos, mas ainda assim o custo de operação da linha aumentaria. Por último, o tempo de espera do usuário, de 14 para 15 minutos, não é o suficiente para melhorar nenhum dos quesitos relativos a custo, e ainda piora o aspecto de tempo de espera do usuário, pois continuam necessários os mesmos 7 veículos para atender os intervalos.

Com base na análise do modelo simplificado criado, e atendendo aos objetivos desse estudo, conclui-se que o *software* Arena tem benefícios a oferecer para simulação em transporte público, sendo uma ferramenta para auxiliar em escolhas e decisões na gestão do mesmo.

É notório também que a modelagem realizada poderia ser facilmente aplicada em outras linhas de ônibus de transporte público, devido a semelhança de seu funcionamento. Seriam facilmente adaptados os parâmetros, conforme as especificidades da linha que fosse escolhida, dada a simplicidade do modelo estabelecido. Apesar disso, conforme a simplicidade do modelo adotado, as avaliações de características mais complexas, por exemplo, as variações de demanda ocasionadas por horários de pico no transporte, exigiriam uma modelagem mais detalhada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi elaborado para verificar a viabilidade do uso do *software* de simulação Arena, como meio de obtenção de melhoria contínua junto ao processo de gestão de linhas de ônibus, através da realização de um estudo de caso de uma linha na cidade de Curitiba.

Em vista dos resultados obtidos, nota-se que, apesar de simplificada a modelagem, ela pode oferecer subsídio de informações. Nota-se também que os mesmos dados poderiam ser extraídos a partir de cálculos e planilhas, por exemplo, o Excel. Entretanto, dada a gratuidade do *software*, a facilidade de uso da ferramenta e a possibilidade de iteratividade, ou seja, a possibilidade de trocar as informações de entrada, torna convidativo o seu uso.

Em relação à simplicidade da modelagem realizada, que seria possível aprofundar em uma pesquisa futura, podem ser levados em consideração aspectos como, por exemplo, fluxo de entrada e saída de passageiros dos veículos, tempo de deslocamento entre cada uma das paradas e tempo médio que os veículos demoram em cada parada, até a entrada e saída dos passageiros cessarem e o ônibus retomar o movimento.

O resultado, embora tímido, é positivo e promissor. Assim, apresenta uma opção que poderia ser facilmente usada em pesquisas sobre linhas de ônibus em qualquer cidade.

## Referências

ARBEX, Renato Oliveira. *Projetos de redes otimizadas de transporte público por ônibus utilizando algoritmos genéticos*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte)-Escola Politécnica de

São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. *Transporte público urbano*. São Carlos: Rima, 2004.

GEHL, Jan. *A dimensão humana: Cidade para pessoas*. São Paulo: *Perspectiva*, 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Planmob*: Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana. Brasília, 2015. Disponível em: <[www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br)>. Acesso em: 11 mar. 2017.

PARAGON. *Arena*. Disponível em: <[www.paragon.com.br](http://www.paragon.com.br)>. Acesso em: 08 mar. 2018.

PINHEIRO, Armando Castelar; FRISCHTAK, Cláudio. *Mobilidade urbana: desafios e perspectivas para as cidades brasileiras*. São Paulo: Elsevier, 2016.

SENADO FEDERAL. *Estatuto da Cidade*. Brasília, 2004. Disponível em: <[www.geomatica.ufpr.br](http://www.geomatica.ufpr.br)>. Acesso em: 15 set. 2016.

SOLON, Alexsandro Silva. *Aplicação da logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

URBS. Horário de ônibus. Disponível em:<<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. *Mobilidade urbana e cidadania*. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2012.

\* Recebido em: 17.03.2018. Aprovado em: 29.03.2018.

LUZIANE MACHADO PAVELSKI

Especialista em gestão de projetos de engenharia (PUC-PR) . Graduada em Engenharia Civil (UFPR). Mestranda em Planejamento Urbano (UFPR). Professora no departamento de Expressão gráfica (UFPR).

MARCIA DE ANDRADE PEREIRA BERNARDINIS

Universidade Federal do Paraná