



## **Proposta de Melhoria no Tráfego Urbano e o Impacto do Contingente de Carros Sob a Ótica da Simulação na Cidade de Rio Verde/GO**

Ana Luiza Soares Nascimento<sup>1</sup>, Darlan Marques da Silva<sup>2</sup>

### **Resumo**

Os veículos são de suma importância para as pessoas, principalmente para o deslocamento de produtos, cargas, processos que saem de uma origem até chegar a um destino final. E toda vez que se fala em deslocamento, é inevitável não se deparar com as filas. No trânsito não é diferente: a sua eficiência é benéfica à entidades/clientes que desfrutam deste tipo de serviço. Visto isto, em uma importante cidade do centro-oeste goiano, Rio Verde, surgiu a necessidade de estudo na área de trânsito, já que esta cidade apresenta um alto índice de crescimento. Para esse estudo foi utilizado o *software* @Arena para realização de simulações em um importante cruzamento na cidade junto com uma análise de robustez para um possível aumento de 25%, 50%, 75% e 100% de veículos na região do estudo, foram obtidas melhorias significativas no cenário proposto, com resultados de redução de 23,4% no tempo médio de espera na fila e 33,93% de redução no tamanho da fila comparado com o cenário atual e com relação análise robustez há conclusões significativas para o cenário proposto se ocorrer um acréscimo de veículos.

**Palavras-chave:** Otimização no trânsito. Simulação discreta. Cidade de Rio Verde/GO.

### **1. Introdução**

Apesar da crise econômica enfrentada pelo Brasil nos últimos anos, que impacta diretamente no cenário das indústrias automobilística, foram registrados um acréscimo de 3,39% na frota de veículos circulantes no país de acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), enquanto que no mesmo período as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que o crescimento populacional é de cerca de 0,78% (BRASIL, 2014; BRASIL, 2017).

Esse crescimento no setor automobilístico é retratado por Lacortt et al. (2012) pela relevância dos veículos no cotidiano das pessoas, que constantemente, necessitam-se deslocar de um ponto a outro com rapidez e segurança. Concomitantemente a este aumento, cada vez mais o trânsito se torna caótico, principalmente nos grandes centros como estamos acostumados acompanhar nos noticiários. Tais fatos contribuem para uma baixa eficiência do trânsito, o qual está sujeito a não obtenção de resultados agradáveis aos seus usuários, pois é primordial que ele seja capaz de atender as entidades que compõem o sistema, seja ela para bens, serviços, pessoas e outros (SALIMIFARD; ANSARI, 2013).



O trânsito ineficiente é suscetível a lentidão e congestionamentos, aspectos os quais agravam os níveis de estresse, reduz a qualidade de vida e eleva os números de acidentes. Afim de solucionar os congestionamentos, diferentes equipamentos são desenvolvidos no propósito de controlar e aprimorar o fluxo no tráfego, um dispositivo muito usual são os semáforos que tendem a coordenar a disciplina das filas em cruzamentos urbanos e conseqüentemente melhorar a fluidez de suas entidades (LACORTT et al. 2012).

Sabe-se que o funcionamento dos semáforos são ligeiramente atrelados a sua programação e que as instituições de administração pública tentam enxugar ao máximo seus orçamentos, o que implica na ausência de aquisição de softwares que façam esse controle e investimentos em mão de obra especializada (LACORTT et al., 2012).

Uma alternativa para lidar com problemas de trânsitos é utilizar como embasamento a teoria das filas aplicando-se simulações, como Zheng et al. (2014) desenvolvem um sistema de simulação de trânsito ferroviário urbano em larga escala, Ding et al. (2017) em seus estudos propõem um modelo heurístico de coexistência de rede urbana ligada aos carros e Wu et al. (2017) também aplicam uma pesquisa na qual avaliou o impacto da carga de congestionamento no trânsito na cidade de Pequim, usando a simulação de tráfego macroscópico, com suporte na teoria das filas e cálculo de emissões de veículos.

A teoria das filas é um ramo da pesquisa operacional que procura por meio de métodos matemáticos e estatísticos criar modelos que se assemelham as filas na prática, na busca da obtenção de uma maior eficiência no atendimento das entidades do sistema (HILLIER; LIEBERMAN, 2013; KOYAMA et al., 2016; MOREIRA, 2013). Os cálculos permitem a execução de melhorias nos sistemas, por meio da verificação de possíveis imperfeições que dificultam o atendimento (KOYAMA et al., 2016), causadas na maior parte dos casos pelo desbalanceamento entre a taxa de chegada e atendimento.

Conforme relata Lovelock e Wright (2002), filas são entidades que estão na espera para serem atendidas, são geradas quando a busca por uma tarefa é superior que a eficiência do sistema em servir.

Segundo Moreira (2013), as filas em boa parte dos casos tentam ser evitadas devido a área ocupada e a visão negativa proporcionada. No entanto as operações com filas são importantes para o gerenciamento dos serviços, pois oferece uma capacidade de atendimento superior ao necessário pode ser dispendioso (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Dado que em determinada época a demanda de clientes podem ser maiores do que em outras, ou seja, períodos de ociosidades (MARINS, 2010). Hillier e Liberman (2013, p. 728)



afirmam que os modelos permitem encontrar um equilíbrio apropriado entre custo de serviço e o tempo de espera.

A Simulação nada mais é que um dos métodos dentro da pesquisa operacional que tem como finalidade o estudo do comportamento de um processo real, que usa como técnica observar os gargalos que tenha dentro desse sistema e assim desenvolver modelos para obtenção de soluções para os problemas encontrado sem a necessidade de ação direta no sistema (PINTO; PINTO, 2005).

Assim, surgiu uma necessidade em realizar um estudo em um cruzamento de trânsito na região central de Rio Verde/GO através de observações e simulações, com a finalidade de propor melhorias em relação a configuração atual, que é convergir à direita, da Av. Presidente Vargas para a Av. José Walter, enquanto o sinal estiver fechado, pois não apresenta fluxo de veículos neste cruzamento em específico quando este semáforo encontra-se neste estágio. Dado que há um crescimento acelerado da população na cidade em estudo que conseqüentemente impactará no tráfego, será feito juntamente com as simulações uma análise hipotética caso aumente a quantidade de veículo na região da pesquisa.

## **2. Material e métodos**

A pesquisa é caracterizada como um estudo de caso, por avaliar ocorrências do cotidiano da vida real de um cruzamento (Av. Presidente Vargas com a Av. José Walter) na cidade de Rio Verde/GO, e de abordagem quantitativa, pois leva em consideração a aplicação da teoria das filas baseada em métodos estatísticos para obtenção dos resultados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

É importante destacar como foi realizado a coleta de dados. Primeiramente, foram extraídos dados de uma filmagem de 60 minutos entre o cruzamento da Av. Presidente Vargas (Av.1) com a Av. José Walter (Av.2), analisando todo o fluxo de veículo que convergem à direita (subindo a Av. Presidente Vargas sentido Cristo (C)) para a Av. José Walter, conforme mostra a Figura 1, durante uma semana no horário de pico do fluxo veicular, entre as 17:30h e 18:30h. O período da coleta dos dados foi feito entre os dias 21 de janeiro de 2019 à 25 de janeiro de 2019, devido ao potencial fluxo de veículos decorrente do fim de expediente comercial.



Figura 1- Cruzamento entre Av. Presidente Vargas e Av. José Walter.

Fonte: Adaptado do Google Maps (2019).

Utilizou-se como suporte a Teoria das Filas para a análise dos dados, com a finalidade de verificar se a configuração do semáforo estaria adequada para a realidade do local. Visto que no cenário atual, as entidades (veículos) param no sinal vermelho quando estão Av.1 (sentido C), quando têm que seguir reto na Av.2 e quando desejam virar na Av.2. Entretanto, viu-se que as entidades que estariam esperando para virar na Av. 2, não teria nenhum tipo de interrupção e estariam esperando de forma ociosa. A escolha da Teoria das Filas é justificada pela possibilidade do dimensionamento do tamanho de fila, através das taxas de chegadas ( $\lambda$ ) e de atendimento ( $\mu$ ), utilizando de uma distribuição de probabilidade (WU et al., 2017). Vale ressaltar que no estudo todos os tipos de veículos (carros, motos, bicicleta, ônibus), foram levados em consideração.

Além do tempo de ciclo programado do semáforo, sendo aqui considerados: aberto (verde) durante 60 segundos e fechado (vermelho ou amarelo com a possibilidade de acidente, devido ser um indicativo de alerta) durante 40 s; há a proposição de mais dois tempos que visam o balanceamento e uma melhor adequação dos tempos à disciplina das filas, sendo tempo médio na fila e no sistema (todos em segundos). Os tempos propostos são simulados por meio do *software* ®*Arena* e suas ferramentas, durante o período de 1

hora (h). Os resultados obtidos pelo modelo simulado foram confrontados com as informações reais, avaliando se os resultados são positivos ou não.

Analisou-se a robustez do sistema estimados acréscimos de 25%, 50%, 75% e 100% na taxa de chegada ( $\lambda$ ) obtidas, e com isso averiguado se a proposta de melhoria em estudo relacionado com a atual configuração ofereceria conclusões satisfatórias.

#### 4. Resultados e Discussões

Nesta seção serão destacados os modelos, resultados obtidos e confrontá-los com a literatura. Para a construção do modelo, foram considerados os pressupostos que a via possui de um sistema de filas tipo  $M/T/1$ , ou seja, com apenas um servidor (semáforo). As chegadas obedecendo a uma distribuição de Poisson, pois segundo Tang et al. (2018), tal distribuição se adequa bem a este tipo de situação de chegadas de veículos em um trânsito urbano e o atendimento do semáforo uma distribuição triangular, para Fazlollahtabar (2019) esta última distribuição é adequada a situações que se tenha um valor mínimo ( $i$ ), uma moda ( $m$ ) e o máximo ( $b$ ).

Para a distribuição de Poisson, obteve-se um  $\lambda = 40$  veículos/min e para a distribuição Triangular,  $i = 0$  s (a entidade não ter que esperar),  $m = 13,6$  s (valor médio das esperas quando o sinal está fechado, sendo a esperança da ocorrência) e  $b = 40$  s (possibilidade máxima de espera). A Figura 2, demonstra o modelo atual, no qual apresenta duas filas (lado esquerdo e direito), ao passar pelo semáforo o veículo da esquerda tem apenas a opção de seguir na Av.1, enquanto que o da direita tem a possibilidade de seguir sentido Cristo ou vira na Av.2 (ver Figura 2). Cheon (2019) destaca a importância da construção de modelos para solucionar problemáticas que poderão beneficiar a população e otimizar processos.

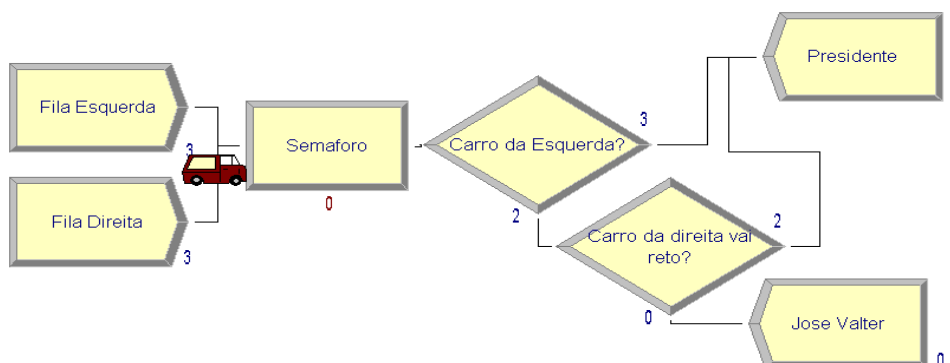


Figura 2- Modelo de Fila adotado pela configuração atual do trânsito em estudo.

Fonte: Próprios autores – ©Arena, (2019).

A partir de um minucioso estudo *in loco*, viu-se que todos os veículos que estavam parados do lado direito e desejavam virar na Av. 2, encontravam-se ociosos, pois nada os impediriam em virar nesta avenida no momento em que o sinal estava fechado, representando aproximadamente 22% do total de veículos. A Figura 3 demonstra a simplificação da proposta, levando em consideração uma “ilha” para os veículos que teriam este intuito de virar na Av.2, através de um estudo empírico visual foi feito na localidade. Cachero et al. (2019) destacam a importância de estudos empíricos em conjunto com a proposta de modelos, pois poderá fazer com que o modelo se aproxime mais da realidade, visto que causas especiais nem sempre podem ser modeladas de forma fidedigna.

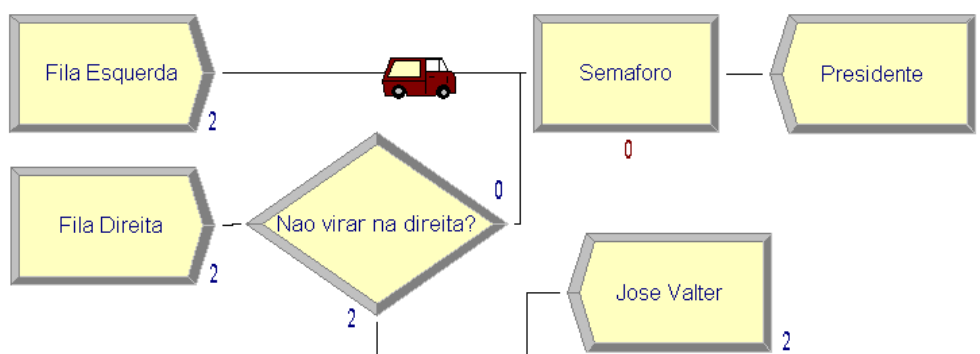


Figura 3- Modelo de Fila proposto ao trânsito em estudo.

Fonte: Próprios autores – ©Arena, (2019).

Com os resultados tabulados através do *software* ®Arena foi possível analisar o presente cenário e elaborar um cenário alternativo que visa melhorar alguns aspectos para aliviar o trânsito naquela região. Conforme na Tabela 1, pode-se analisar a diferença entre ambos cenários, onde a proposta apresentou 23,4% de redução no tempo médio de espera na fila, 33,93% de redução no tamanho da fila, 20,72% de redução na taxa de ocupação do semáforo e 18,84% de redução no número médio de carros na fila. Mostrando ser uma opção viável para ser implantada nessa região. Mavi et al. (2018) destacam que com a implementação da proposta de vários cenários possíveis, pode-se induzir em uma escolha adequada para melhorar significativamente o congestionamento em uma região, realizando uma aplicação cidade de Teerã/Irã.



Tabela 1- Indicadores do cenário atual e cenário proposto em relação ao número médio de carros fila (quantidade de entidades – n°), taxa de ocupação do sinal (%), tamanho da fila (n°), tempo médio na fila (s) e tempos médio no sistema (s).

<i>Indicadores</i>	<i>Atual Cenário</i>	<i>Cenário Proposto</i>	<i>Diferença (%)</i>
Nº médio de carros na fila (n°)	13,8	11,2	18,84
Taxa de Ocupação do Sinal (%)	3,62	2,87	20,72
Tamanho da Fila (n°)	0,0056	0,0037	33,93
Tempo Médio na fila (s)	0,047	0,036	23,40
Tempo Médio no Sistema (s)	0,32	0,265	16,29

Fonte: Próprios autores (2019).

Fontoura et al. (2019) realizando um estudo na cidade de São Paulo/Brasil, destaca a complexidade do transporte urbano, devido ao fato de estar relacionado a população, meio ambiente, governo e economia, e, por conta dessas complexidades, é relevante realizar uma abordagem dinâmica do sistema com a finalidade de identificar as relações causais que envolvem as variáveis que apresentam interligação ao sistema. Oliveira et al. (2017) também realizando um estudo de trânsito no Brasil, entretanto na cidade de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, explana sobre a necessidade de encontrar soluções para reduzir os problemas associados ao trânsito urbano, pois pode levar a interrupção de cargas e gerar prejuízos inconvenientes para todos os envolvidos, que vai desde o fornecedor até o cliente final.

Aqui, fica claro a necessidade de se ter uma dinâmica na otimização de estudos no trânsito, pois vai além das esperas de entidades em um determinado momento, envolvendo problemas contingenciais, ambientais, financeiros, governamentais e até mesmo associado a vida de pessoas, levando em consideração que ambulatórios móveis de atendimentos a acidentes e outros casos emergenciais compartilham de vias urbanas na realização de atendimentos que passam por tais semáforos, como pôde ser verificado nas filmagens para a coleta de dados do estudo. Logo, uma boa política na definição estrutural dos semáforos é extremamente importante para a população.

Porém, mesmo apresentando uma redução significativa, o fluxo de carro que segue reto na Av.1 é ainda bem superior ao que viram na Av. 2. Portando, ao colocar a direita livre, conseqüentemente a fila da esquerda aumentaria retomando o congestionamento, visto isso para melhorar a proposta teria que proibir o estacionamento na rua do quarteirão em estudo

e abrir mais uma via para os carros que fossem virar à direita. Contudo, para avaliar a viabilidade de realização das propostas dependeria da engenharia de tráfego da cidade.

Percebe-se que o número de veículos nas ruas das cidades vem crescendo excessivamente. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a quantidade de veículos na cidade Rio Verde/GO cresceu 91,34% entre os anos de 2009 a 2018, e nos últimos 5 anos 23,48% (BRASIL,2018). Visto isso, realizou-se uma análise de robustez com a mesma proposta entre a presente situação e o quadro proposto apontado, onde acrescentou-se a possibilidade do aumento de veículos na região em 25%, 50%, 75% e 100% e analisou-se as diferenças de ambos quadro em cada estimativa de crescimento do fluxo de veículos (25-100%) (Ver Figura 4).

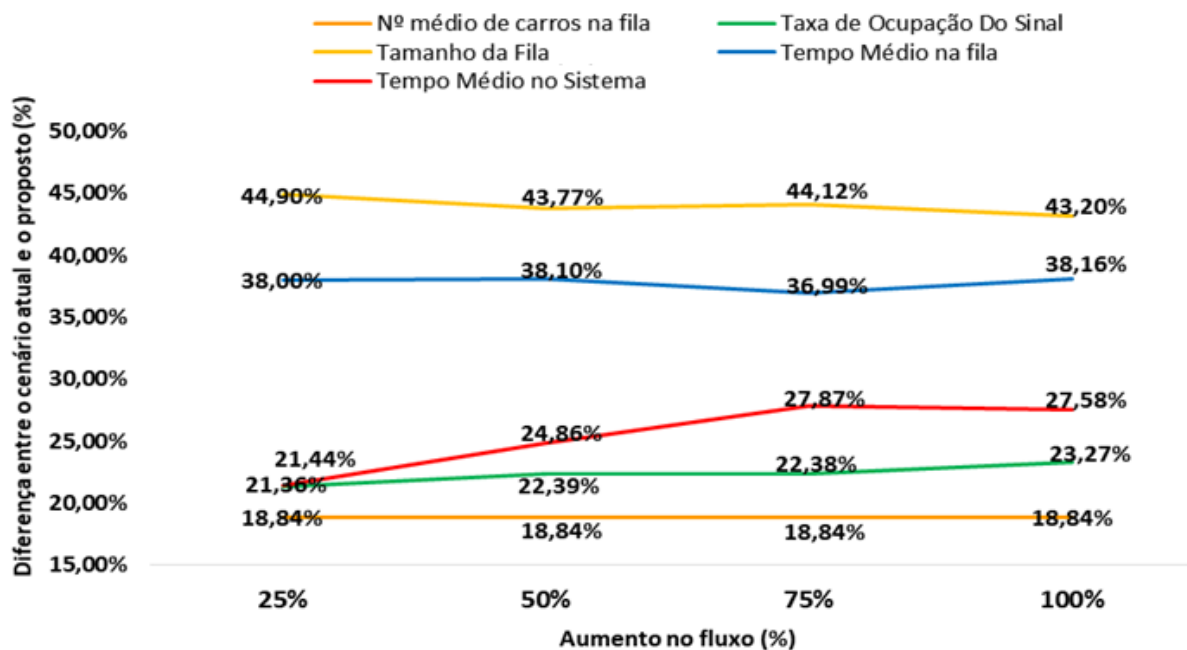


Figura 4- Indicadores da diferença entre o cenário atual e cenário proposto com acréscimos de 25%, 50%, 75% e 100% em ambos cenários, com os parâmetros número médio de carros fila (quantidade de entidades, taxa de ocupação do sinal (%), tamanho da fila, tempo médio na fila e tempos médio no sistema.

Fonte: Próprios autores (2019).

O modelo apresenta uma diferença considerável com relação ao presente e o possível aumento de veículos ao longo dos anos. O parâmetro do tempo médio de espera na fila obteve 14,75% de redução, tempo médio de espera no sistema 11,29% de redução e o tamanho da fila uma redução 9,27%, comparado com os resultados da diferença da Tabela





1 e o aumento de 100% dos veículos conforme denota as informações da Figura 4. Os demais parâmetros taxa de ocupação do semáforo e número médio de carros na fila não tem uma variação significativa.

## 5. Conclusão

O uso da Teoria de filas é de suma importância para auxiliar na tomada de decisão de um sistema. Sua aplicação no presente estudo mostrou resultados eficazes, podendo gerar informações para os órgãos competentes. Assim, a aplicação da simulação Discreta com o suporte do *®Arena*, consolida-se como uma importante ferramenta que pode ser utilizada em problemas de trânsito, pois em todos os indicadores levantados houve uma redução, melhorando: número médio de carros fila (18,84%), taxa de ocupação do sinal (20,72%), tamanho da fila (33,93%), tempo médio na fila (23,40%) e tempos médio no sistema (16,29%).

Em relação a análise futura, entende-se que com aumento de veículos na cidade em estudo a proposta de mudança de cenário mostra um aumento nos resultados de redução sendo assim mais significativas.

## Referências

BRASIL, 2014. **Departamento Nacional de Trânsito**. Frota de Veículos. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos>>. Acesso em: 10 abril 2019.

\_\_\_\_\_, 2017. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Projeção da População das Unidades da Federação por sexo e idade: 2000-2030. Projeção das populações dia 1º de cada mês. Atualizado em 23 de março de 2014.

\_\_\_\_\_, 2018. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Frota de Veículos. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/pesquisa/22/28120>>. Acesso em: 09 outubro 2019.

CACHERO, C.; MELIÁ, S.; HERMIDA, J. M. Impact of model notations on the productivity of domain modelling: An empirical study. **Information and Software Technology**, vol. 108, pp. 78-87, 2019.

CHEON, S. H.; LEE, C.; SHIN, S. Data-driven stochastic transit assignment modeling using an automatic fare collection system. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, vol. 98, pp. 239-254, 2019.

DING, R.; UJANG, N.; HAMID, H.; MANAN, M. S.; LI, R.; WU, J. Heuristic urban transportation network design method, a multilayer coevolution approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**. Vol. 479, pp. 71-83, 2017.



UNIVERSIDADE  
DE RIO VERDE



FAZLOLLAHTABAR, H. Triple state reliability measurement for a complex autonomous robot system based on extended triangular distribution. **Measurement**, vol. 139, pp. 122-126, 2019.

FONTOURA, W. B.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. The Brazilian urban mobility policy: The impact in São Paulo transport system using system dynamics. **Transport Policy**, vol. 73, pp. 51-61, 2019.

HILLIER, F. S.; LIBERMAN, G. J. Introdução à pesquisa operacional. Traduzido por Ariovaldo Gries. 9. ed. Porto Alegre: **AMGH**, pp. 1005, 2013.

KOYAMA, E. S.; GONÇALVES, I. B.; CHIN, S. Y. Aplicação de teoria das filas em uma interseção de ruas e proposta de implantação semaforizada. **CONBEPRO**, 2016.

LACORTT, M.; KRIPKA, M.; KRIPKA, R. M. L. Modelos Matemáticos para Otimização do Tráfego Urbano Semaforizado. **CNMAC**, 2012.

LOVELOCK, C.; WRIGHT, L. Serviços: marketing e gestão. São Paulo: Saraiva, 2002.

MARINS, F. A. S. Introdução à Pesquisa Operacional. São Paulo: **Cultura Acadêmica**: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

MAVI, K. R.; ZARBAKHSHNIA, N.; KHAZRAEI, A. Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach. **Transport Policy**, vol. 72, pp. 187-197, 2018.

MOREIRA, D. A. Pesquisa operacional: curso introdutório. 2. ed. **Rev. e Atual**. São Paulo: Cengage Learning, pp. 356, 2013.

OLIVEIRA, L. K.; ABREU, B. R. A.; LESSA, D. A.; BARBOSA, I. A.; CARVALHO, D. B. F.; SACHETTO, R.; ELDER REIOLI, E. C. Evaluate of collaborative transit system to urban goods delivery: an exploratory study in Belo Horizonte (Brazil). **Transportation Research Procedia**, vol. 25, pp. 928-941, 2017.

PINTO, E. B.; PINTO, L. R. O uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisões em uma indústria siderúrgica: estudo de caso. *In*: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, Gramado 2005.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição. **Editores Feevale**, 2013.

SALIMIFARD, K.; ANSARI, M. Modeling and Simulation of Urban Traffic Signals. International Journal of **Modeling and Optimization**, vol. 3, No. 2, 2013.

TANG, J.; YANG, Y.; QI, Y. A hybrid algorithm for Urban transit schedule optimization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 512 (15), pp. 745-755, 2018.

WU, K.; CHEN, Y.; MA, J.; BAI, S.; TANG, X. Traffic and emissions impact of congestion charging in the central Beijing urban area: A simulation analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**. Vol. 51, pp. 203-215, 2017.



UNIVERSIDADE  
DE RIO VERDE



ZHENG, H.; ZHANG, X.; CHEN. The Design and Implementation of Urban Rail Transit Driving Simulation System Based on Real Scene. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. Vol. 138, pp. 394-407, 2014.