[Data]

Manoel de Freitas Gouvêa Junior

UNIP – Universidade Paulista

Semáforo Inteligente

Trabalho de Conclusão de Curso

Sumário

[**1** **INTRODUÇÃO** 2](#_Toc9466911)

[1.1 MOTIVAÇÃO 4](#_Toc9466912)

[1.2 OBJETIVOS 4](#_Toc9466913)

[1.2.1 Objetivo Geral 4](#_Toc9466914)

[1.2.2 Objetivos Específicos 4](#_Toc9466915)

[**2** **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** 5](#_Toc9466916)

[2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 5](#_Toc9466917)

[2.1.1 Aprendizagem Por Reforço 5](#_Toc9466918)

[2.2 MACHINE LEARNING 5](#_Toc9466919)

[2.2.1 Q Learning 5](#_Toc9466920)

[2.3 TEORIA DAS FILAS 6](#_Toc9466921)

[2.3.1 Sistema de um canal e uma fila com população infinita 7](#_Toc9466922)

[2.3.1.1 Características do modelo 8](#_Toc9466923)

[2.3.1.2 Equações 8](#_Toc9466924)

[**3** **REFERÊNCIAS** 1](#_Toc9466925)

Lista de Siglas

* IA: Inteligência Artificial.
* IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
* IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
* DETRAN-SP: Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo.
* CET: Companhia de Engenharia de Tráfego.

# **INTRODUÇÃO**

Com a evolução da vida moderna como a conhecemos muitas oportunidades surgem assim como desaparecem, mas um aspecto da vida é invariável e imutável, o tempo, devido ao acumulo de atividades, obrigações, funções a serem desempenhadas cada vez mais o tempo se torna “escasso”, com isso as soluções mais atraentes para as pessoas de modo geral são aquelas que proporcionam algum tipo de economia de tempo, um dos grandes causadores de problemas é o trânsito, que com o aumento das cidades e população se torna cada vez mais complexo, lento, incontrolável, o tempo gasto por um cidadão comum brasileiro no trânsito, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), gasta em média 30 minutos do seu dia no trânsito (IPEA, 2013).

Não é difícil de imaginar que a volumetria de dados existentes é muito grande, se analisar a cidade de São Paulo veremos que existem mais de 11 milhões de pessoas (IBGE, 2018), mais de 1.200.000 veículos (DETRAN-SP, 2018) e mais de 6.000 semáforos ativos (CET, 2019), gerenciar esses dados não é possível apenas para pessoas sem o auxílio de ferramentas computacionais.

Cruzamentos de vias críticas necessitam de uma forma de controle eficiente, para isso foram criados os semáforos, entretanto com o aumento do volume de veículos presentes nas cidades a forma tradicional de realizar esse controle está cada vez menos eficiente, pois da maneira como é constituído o sistema de sinalização de um cruzamento os tempos são definidos e ficam fixos, conforme há variação no fluxo em um determinado ponto é necessária uma nova análise do local para fazer o reajuste de tempos nos semáforos, para essa finalidade podem ser inseridas ferramentas computacionais como o uso de uma inteligência artificial (IA) para essa avaliação em uma menor escala de tempo, tornando assim o controle sempre ajustado e com uma eficiência melhor.

Em 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts apresentam um artigo que fala pela primeira vez de redes neurais, estruturas de raciocínio artificiais em forma de modelo matemático que imitam o nosso sistema nervoso. Oficialmente a história da Inteligência artificial teve início logo após a segunda guerra mundial com Alan Turing, conhecido por ser o pai da computação e um dos pioneiros do campo da IA, em 1956 em uma conferência no campus do Darthmouth College foi fundado o campo de pesquisa em inteligência artificial, definido como “A ciência e engenharia de produzir máquinas inteligentes” (Instituto de engenharia, 2018).

Dada a volumetria de dados e a necessidade que esses dados sejam gerenciados em tempo real a utilização da inteligência artificial se torna uma obrigação, para isso existem maneiras de utilizar a IA para que o sistema seja capaz de aprender, a isso é dado o nome de *Machine Learning (ML)*, que traduzido significa aprendizado de máquina.

Diante de várias formas de se trabalhar com o aprendizado de máquina a abordagem escolhida para esse problema foi a de aprendizagem por reforço (AR), que segundo Sutton e Barto (1998) AR é uma definição da IA que permite o sistema de realizar a avaliação do sistema em tempo real e através de um sistema de recompensas, positivas ou negativas, terá uma tomada de decisões baseando-se no estado atual do sistema onde o algoritmo foi aplicado, para esse trabalho especificamente será estudada a utilização do algoritmo *Q-Learning.*

Como será detalhado mais adiante o algoritmo *Q-Learning* é livre de modelo, isto é, não existe qual a definição matemática de qual será o modelo utilizado para definição do cálculo da recompensa, para a situação proposta pelo trabalho geralmente são utilizados modelos baseados em processos estocásticos, onde o representante mais conhecido é o Processo de Decisão de Markov, porém será proposto nesse trabalho a utilização de um modelo baseado na teoria das filas, que segundo BRUNS (et al., 2001) é um modelo matemático baseado em processos estocásticos.

A organização do trabalho é a mesma que segue, sendo abordados fundamentos da Inteligência Artificial, especificando técnicas de *Machine Learning*, e o funcionamento do algoritmo *Q-Learning*, após isso serão apresentadas informações a respeito da teoria das filas e seu funcionamento, depois dessa sessão referente à revisão bibliográfica o trabalho entrará nos tópicos referentes a experimentação, resultados, e, por fim, a conclusão e considerações sobre o tema abordado.

## MOTIVAÇÃO

Com o sistema atual utilizado no controle de tráfego temos que os semáforos, originalmente pensados para servirem de controladores estão se tornando geradores de congestionamento, onde muitas vezes a mobilidade urbana é diretamente afetada,

## OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar e aprimorar o sistema de sinalização semafórica em cruzamentos de trânsito veicular para diminuição de congestionamentos de vias através do uso de Inteligência Artificial.

### Objetivos Específicos

* Utilizar inteligência artificial para calcular os tempos que cada semáforo de um cruzamento deve permanecer aberto ou fechado.
* Avaliar o impacto da utilização de inteligência artificial em uma situação real e corriqueira.
* Determinar se existem ganhos com a utilização de ferramentas computacionais para uma melhora do sistema atual de controle de tráfego em cruzamentos.

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Para Russell e Norvig não há uma definição única e exata para definir a inteligência artificial, mas sim quatro abordagens para entender essa área da computação, são elas:

* Teste de Turing.
* Modelagem cognitiva.
* “Leis do pensamento”.
* Agente racional.
  + 1. Teste de Turing

Devido à importância e relevância do teste de Turing ele será mencionado nesse trabalho, os demais embora importantes não terão destaque nessa pesquisa.

O teste de Turing, proposto por Alan Turing (1950) é um teste que evita um conjunto de perguntas, que podem vir a ser controversas, e ao invés disso propõe um teste onde há a interação de uma máquina com um ser inegavelmente inteligente, o ser humano, se o segundo não for capaz de distinguir as respostas fornecidas pela máquina, existe uma outra modalidade do teste que é chamado de teste de Turing total onde além de fornecer respostas a máquina é capaz de interagir com quem a estiver testando, se a pessoa que está realizando o teste não for capaz de distinguir a inteligência artificial de uma inteligência natural, a dos seres humanos, então ela está aprovada no teste de Turing. Para que uma máquina seja capaz de passar pelo teste de Turing total é necessário que ela possua algumas capacidades, Processamento de linguagem Natural (PLN), Representação de conhecimento, Raciocínio automatizado, Aprendizado de máquina (do inglês *Machine Learning*), Visão computacional, robótica, e esses são os principais campos da área de IA. (Russell, S e Norvig, P, 2004).

## *MACHINE LEARNING*

De acordo com Monard e Baranauskas (Monard, M. C., Baranauskas, J. A., 2003) “Aprendizado de máquina é uma área da IA cujo objetivo é o desenvolvimento de técnicas computacionais sobre o aprendizado bem como a construção de sistemas capazes de adquirir conhecimento de forma automática”. Em outras palavras é a capacidade de um computador aprender com base em sua experiência, através de erros e acertos.

A maneira mais comum utilizada para a aquisição desse conhecimento é através da indução, que é um processo onde é possível tirar conclusões genéricas a partir de um conjunto de exemplos. O processo de aprendizado indutivo pode ser dividido em dois paradigmas, supervisionado e não-supervisionado. No paradigma supervisionado são fornecidos dados para realização do treinamento do algoritmo, para que ele “entenda como o problema funciona”, já no paradigma não-supervisionado esses dados de treinamento não são fornecidos, ao invés disso o algoritmo agrupa as informações e após esse agrupamento os grupos criados são analisados e contextualizados diante do domínio do problema (Monard, M. C., Baranauskas, J. A., 2003).

## APRENDIZADO POR REFORÇO

## *Q-LEARNING*

## TEORIA DAS FILAS

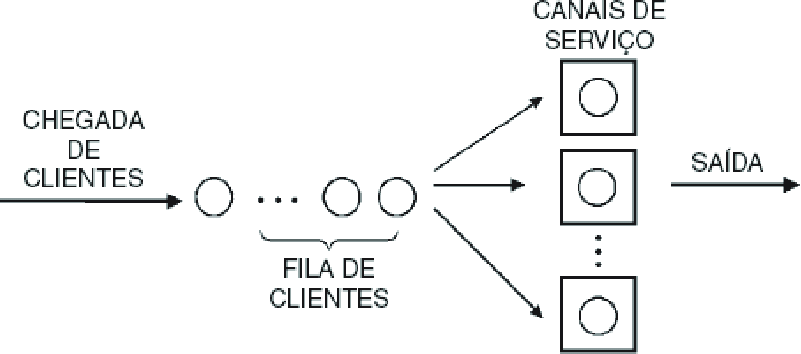
A administração trouxe ao mundo diversas formas de se analisar problemas, muitas vezes do cotidiano, um desses problemas que são bastante recorrentes são as filas, podem ser filas para se usar o banco, filas para pagamentos de contas e/ou tributos, filas para realizar compras, basicamente qualquer atividade que necessite de uma ordem de atendimento tem um grande potencial de formação de filas, conforme diz Chiavenato (Chiavenato, I., 2003) uma fila consiste em uma pessoa utilizar um serviço e durante o atendimento dessa pessoa demais indivíduos esperam suas respectivas vezes, formando dessa forma uma fila, já pelo que diz Andrade (Andrade, E. L. de, 1998) fila nada mais é que o resultado de um sistema onde o atendimento, ou prestação de um determinado serviço, é ineficiente do ponto de vista de tempo com relação ao acumulo de usuários daquele sistema.

É importante salientar que em um sistema tratado pela teoria das filas todo cliente pode ser entendido como qualquer ser, objeto ou até mesmo sistema que aguarda por algum tipo de serviço, enquanto servidores podem ser qualquer ser, objeto ou sistema que presta o serviço aguardado pelos clientes. Outro ponto interessante sobre a teoria das filas é que não é necessário um sistema previsível, isto é, podem ser estudados, e muitas vezes são, sistemas inconstantes, que possuem um volume de clientes na entrada do sistema variável com o passar do tempo e também é permissível que essa entrada seja extrapolada ao infinito (Andrade, E. L. de, 1998).

Ainda pelo raciocínio de Andrade, existem quatro fatores que compõem a operação de um sistema que possa gerar filas, são eles:

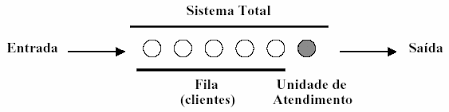
* Forma de atendimento: Diz respeito a forma com que o atendimento será feito, características como disponibilidade do serviço, por quanto tempo o serviço ficará disponível, e capacidade de atendimento simultâneo oferecida pelo sistema devem ser levados em consideração no momento do dimensionamento do serviço.
* Modo de chegada: É a característica responsável por descrever a maneira com que os clientes chegam até o sistema, geralmente essa chegada é de forma aleatória e estacionária, isto é, o padrão de distribuição das probabilidades permanece constante.
* Disciplina da fila: Estuda a forma com que a fila será “consumida”, se utilizará um padrão onde o primeiro a chegar será o primeiro a ser atendido (FIFO, *First-In First-Out)*, ou se o último a chegar será o primeiro a ser atendido (LIFO, *Last-In First-Out)*, ou até mesmo se haverá algum tipo de atendimento preferencial para idosos, por exemplo.
* Estrutura do sistema: Faz uma análise geral do sistema, estudando sua estrutura de forma geral, pois os sistemas podem ser dos mais diferentes tipos, por exemplo, podemos ter sistemas com apenas uma fila e um canal de serviço, ou então múltiplos canais, ou até mesmo sistemas mais complexos com diversas filas e diversos canais de serviços, conforme demonstrados nas imagens 1, 2 e 3.

Figura 1 - Modelo de fila simples com vários canais de atendimento



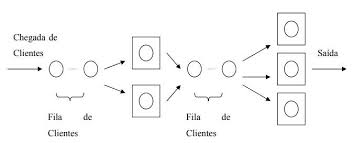
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Modelo-de-sistemas-com-uma-fila-e-varios-canais-Fonte-Andrade-2015\_fig1\_332324109

Figura 2 - Exemplo de fila simples com um canal de atendimento



Fonte: <http://www.sucena.eng.br/ST/ST5_Mod5TeoriadeFilas.pdf>

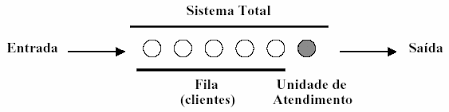
Figura 3 - Exemplo de um sistema complexo, onde existem duas filas e dois grupos de canais de atendimento, cada um com mais de um atendente



Fonte: <http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/3/3-06.pdf>

## Sistema de um canal e uma fila com população infinita

Figura 4 – Sistema de fila única com apenas um atendente



Fonte: <http://www.sucena.eng.br/ST/ST5_Mod5TeoriadeFilas.pdf>

Conforme discutido anteriormente existem diversas configurações para um sistema que possa gerar uma situação de fila, uma dessas configurações é a de uma única fila associada com um único atendente, que será o modelo empregado nesse trabalho, pois é o modelo capaz de representar a maioria dos sistemas de semáforos implantados em um cruzamento, onde os veículos fazem o papel dos clientes do sistema e os semáforos responsáveis por gerar a vazão de veículos fazem o papel de atendentes.

## Características do modelo

As chegadas do modelo seguem uma distribuição de Poisson com uma média λ (Lambda) de chegadas em um determinado tempo, os tempos de atendimento seguem em uma distribuição exponencial negativa com média 1/µ (ou seja, uma distribuição de Poisson com média µ), O atendimento da fila é feito por ordem de chegada, isto é, utiliza o modelo FIFO, a população é considerada infinita.

## Equações

Abaixo seguem as principais equações da teoria das filas, existem outras equações, porém são derivações e/ou combinações dessas sete, as provas para essas equações podem ser encontradas na referência (Wagner, 1972)

Equação 1 – Probabilidade de haver n clientes no sistema

Fonte: Andrade, 1998

Equação 2 – Probabilidade de que o número de clientes no sistema seja superior a um certo valor r

Fonte: Andrade, 1998

Equação 3 – Probabilidade que o sistema esteja ocupado (ρ)

Fonte: Andrade, 1998

Equação 4 – Número médio de clientes no sistema

Fonte: Andrade, 1998

Equação 5 – Número médio de pessoas na fila (NF)

Fonte: Andrade, 1998

Equação 6 – Tempo médio de espera na fila (TF)

Fonte: Andrade, 1998

Equação 7 – Tempo médio gasto no sistema (TS)

Fonte: Andrade, 1998

# **REFERÊNCIAS**

1. http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\_content&view=article&id=2032923/10/2013 - Acessado em 14/04/2019.
2. Manual on Uniform Traffic Devices for Streets and Highways (MUTCD), 2003 Edition. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., 2003.
3. https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/10/29/a-historia-da-inteligencia-artificial/  
   29/10/2018 – Acessado em 14/04/2019.
4. https://seer.ufrgs.br/rita/article/view/rita\_v14\_n2\_p133-179/3544 - Acessado em 14/04/2019.
5. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/pesquisa/23/27652?detalhes=true – Acessado em 28/04/2019
6. http://www.cetsp.com.br/consultas/sinal-verde.aspx – Acessado em 28/04/2019
7. https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/portaldetran/detran/detran/estatisticastransito/sa-frotaveiculos/d28760f7-8f21-429f-b039-0547c8c46ed1 – Acessado em 28/04/2019