

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

MBA em Big Data, Business Intelligence e Business Analytics  
(MB3B)

**PREVISÃO DE ACIDENTES EM RODOVIAS CONCEDIDAS**

Autor:

---

Lucas Azevedo Passos

Orientador:

---

Manoel Villas Boas Junior, M. Sc.

Coorientador:

---

Edilberto Strauss, Ph. D.

Examinador:

---

Flávio Luis Mello, D. Sc.

Examinador:

---

José Airton Chaves Cavalcante Junior, D. Sc.

Examinador:

---

Vinicius Drumond Gonzaga, M. Sc.

**Rio de Janeiro**  
**Dezembro/2021**

## Declaração de Autoria e de Direitos

Eu, **Lucas Azevedo Passos** CPF 135.28.397-14, autor da monografia *PREVISÃO DE ACIDENTES EM RODOVIAS CONCEDIDAS*, subscrevo para os devidos fins, as seguintes informações:

1. O autor declara que o trabalho apresentado na defesa da monografia do curso de Pós-Graduação, Especialização MBA em Big Data, Business Intelligence e Business Analytics da Escola Politécnica da UFRJ é de sua autoria, sendo original em forma e conteúdo.
2. Excetua-se do item 1 eventuais transcrições de texto, figuras, tabelas, conceitos e idéias, que identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos proprietários, quando necessárias.
3. O autor permite que a UFRJ, por um prazo indeterminado, efetue em qualquer mídia de divulgação, a publicação do trabalho acadêmico em sua totalidade, ou em parte. Essa autorização não envolve ônus de qualquer natureza à UFRJ, ou aos seus representantes.
4. O autor declara, ainda, ter a capacidade jurídica para a prática do presente ato, assim como ter conhecimento do teor da presente Declaração, estando ciente das sanções e punições legais, no que tange a cópia parcial, ou total, de obra intelectual, o que se configura como violação do direito autoral previsto no Código Penal Brasileiro no art.184 e art.299, bem como na Lei 9.610.
5. O autor é o único responsável pelo conteúdo apresentado nos trabalhos acadêmicos publicados, não cabendo à UFRJ, aos seus representantes, ou ao(s) orientador(es), qualquer responsabilização/ indenização nesse sentido.
6. Por ser verdade, firmo a presente declaração.

Rio de Janeiro, 11 de novembro de 2021.

---

Lucas Azevedo Passos

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Av. Athos da Silveira, 149 - Centro de Tecnologia, Bloco H, sala - 212,  
Cidade Universitária Rio de Janeiro – RJ - CEP 21949-900.

Este exemplar é de propriedade Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

Permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es).

## **AGRADECIMENTO**

Dedico este trabalho e todo esforço depositado a minha esposa Talita Passos e meus filhos Lorenzo e Clarice que me servem de inspiração todos os dias na procura da melhor versão de mim mesmo. Agradeço imensamente a meus pais por toda educação e o exemplo que o estudo é o melhor caminho para o crescimento do ser humano. É importante mencionar também nesta seção o meu sincero agradecimento a todos mestres e professores que em algum momento de minha vida tive a oportunidade de conviver e mesmo que de forma indireta plantaram a semente da educação em mim. Uma lembrança especial ao meu querido pai e herói que se foi e sempre vou honrar sua memória.

## RESUMO

Os acidentes de trânsito e seus efeitos representam um grande problema para a sociedade. Além de uma das principais causas de mortalidade, seus impactos socioeconômicos também apontam um custo financeiro e operacional para diversos setores da economia. Este trabalho apresenta uma análise do atual cenário brasileiro com dados extraídos e obtidos de diversos órgãos competentes nas esferas públicas a fim de criar um entendimento abrangente do tema e traçar uma linha do tempo destas informações com o objetivo de encontrar correlações e ter uma base histórica para entender o comportamento ao longo dos anos. Também é considerado a elaboração de modelos auto regressivos estatísticos para apoio a tomada de decisões com o foco de projetar ou criar uma previsão aceitável do volume futuro de acidentes em determinadas rodovias federais, com isso permitindo que órgãos ou entidades responsáveis diretamente ou indiretamente pela cautela, gestão ou qualquer atividade que possa tomar como base estes tais valores tenham informações suficientes para uma melhor decisão e eficiência na gestão operacional de suas atividades. São considerados múltiplos modelos auto regressivos visando criar uma base de comparação dos resultados obtidos para a escolha do melhor modelo, levando em consideração a proximidade dos valores reais com os valores estimados e o seu custo computacional de treinamento e obtenção dos dados finais.

Palavras-Chave: *SARIMAX, rodovias, frota nacional, média móvel, regressão, Holt-Winters*

## **ABSTRACT**

The traffic accidents and its effects represent a big issue to the modern society. Beside one of the main mortality causes, its social and economic impacts drive a financial exposure and operational efforts to a wide variety business area. This work aims present an analysis of the brazilian's scenario of road accidents using data obtain from several entities responsible in the public section to create a consolidate point of view about the subject and make a timeline with that info to find out correlations and create a historical behavior thought the last years. We also consider the creation of statistical autoregressive models to support the decision taken process focusing on project an acceptable estimative of a future volume of accidents in such federal roads. Enabling the entities directly and indirectly to manage and improve the decision-making process about their operational and support departments. We are considering multiple autoregressive models and presenting a well formatted results to help the stakeholders to choose the best model that fits your requirements, using as a baseline the proximity of the estimated value with the real figures and the computational resources to model de data.

Keywords: autoregressive models, ARIMA, SARIMAX, road traffic accidents, roads, national volume, statistics, moving average, regression, Holt-Winters.

## SIGLAS

<b>ANTT</b>	Agência Nacional de Transportes Terrestres
<b>DENATRAN</b>	Departamento Nacional de Trânsito
<b>ICM</b>	Índice de Condições de Pavimento
<b>OSEMN</b>	<i>Obtain, Scrub, Explore, Model, Interpret</i>
<b>DNER</b>	Departamento Nacional de Estradas e Rodovias
<b>ABCR</b>	Associação Brasileira de Concessionárias Rodoviárias
<b>COVID19</b>	<i>Coronavirus Disease of 2019</i>
<b>DNIT</b>	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
<b>DPRF</b>	Departamento de Polícia Rodoviária Federal
<b>GGPERT/DIR</b>	Coordenação Geral de Operações Rodoviárias
<b>ARIMA</b>	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>
<b>SUSEP</b>	Superintendência de Seguros Privados
<b>SARIMAX</b>	Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average Exogenous Factors
<b>FAC</b>	Função de autocorrelação
<b>FACP</b>	Função de autocorrelação parcial
<b>AIC</b>	<i>Akaike's Information Criterion</i>
<b>BIC</b>	<i>Bayesian Information Criteria</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Volume de veículos em praças de pedágio ao longo dos anos.	10
Figura 2.2	Volume da frota de veículos nacional ao longo dos anos	12
Figura 2.3	Percentual de crescimento da frota. Variação anual	12
Figura 2.4	Crescimento da frota de veículos do tipo automóvel e motocicleta	14
Figura 2.5	Acidentes diários registrados nas rodovias concedidas a partir de 2010.	17
Figura 2.6	Volume de acidentes por ano em rodovias concedidas.	17
Figura 2.7	Mapa de calor dos acidentes por dia da semana e horas.	18
Figura 2.8	Mapa de calor dos acidentes fatais por dia da semana e horas. Valores acidentes fatais divididos pelo total de acidentes no período.	19
Figura 3.1	Volume de acidentes e veículos em pedágio.	25
Figura 4.1	Volume de veículos em praça de pedágio.	28
Figura 4.2	Relação de acidentes e veículos em praça de pedágio.	28
Figura 4.3	Decomposição da série temporal de acidentes.	29
Figura 4.4	Gráfico da FAC de acidentes de trânsito.	29
Figura 4.5	Gráfico da FAC de acidentes de trânsito com remoção da tendência.	30
Figura 4.6	Gráfico da FAC e FACP de acidentes de trânsito com diferenciação.	31
Figura 4.7	Previsão dos últimos 12 meses segundo o modelo.	33
Figura 4.8	Análise dos resíduos do modelo SARIMAX empregado.	34
Figura 4.9	Previsão para os próximos 12 meses do modelo SARIMAX empregado.	34
Figura 4.10	Previsão dos últimos 12 meses do modelo Holt-Winters simples empregado.	36
Figura 4.11	Previsão dos últimos 12 meses do modelo Holt-Winters completo empregado.	37
Figura 4.2	Previsão dos próximos 12 meses do modelo Holt-Winters completo empregado.	37



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Quantidade de veículos pedagiadas. Em milhões.	9
Tabela 2.2	Quantidade total de veículos por ano na frota brasileira	11
Tabela 2.3	Quantidade e o percentual de crescimento de autos e motocicletas	13
Tabela 2.4	Sumário de acidentes nas rodovias concedidas – 2010 a 2021	16
Tabela 4.1	Ordens SARIMAX e métricas de AIC.	32
Tabela 4.2	Valores de previsão dos acidentes para os próximos 12 meses com SARIMAX empregado.	35
Tabela 4.3	Resultado dos modelos Holt-Winters com métricas AIC e BIC.	36
Tabela 4.4	Previsão de acidentes dos próximos 12 meses com o modelo Holt-Winters.	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Lista das concessões membros de ABCR	8
Quadro 4.1	Fontes de dados	24

# Sumário

<b>Capítulo 1: Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 – Tema .....	2
1.2 - Justificativa .....	2
1.3 – Objetivos.....	3
1.4 - Delimitação .....	3
1.5 – Metodologia.....	4
1.6 – Descrição .....	5
<b>Capítulo 2: Embasamento Teórico .....</b>	<b>6</b>
2.1 – Panorama geral das concessões no Brasil.....	6
2.2 – Sobre o aumento da frota brasileira.....	10
2.3 – Histórico de acidentes e perfil .....	14
2.4 – Modelos de previsão.....	19
<b>Capítulo 3: Propostas Tecnológicas .....</b>	<b>22</b>
3.1 – Ferramentas e dados. ....	23
3.2 – Preparação dos dados. ....	24
3.3 – Proposta 1. ....	25
3.4 – Proposta 2. ....	26
<b>Capítulo 4: Resultados Obtidos.....</b>	<b>27</b>
4.1 – Resultado 1. ....	27
4.2 – Resultado 2. ....	35
4.3 – Análise dos resultados. ....	38
<b>Capítulo 5: Conclusão e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>39</b>
5.1 – Conclusão .....	39
5.2 – Trabalhos Futuros .....	40
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>41</b>

# CAPÍTULO 1

## Introdução

Prever o futuro parece ser um ato de charlatanismo quando não aplicado de maneira correta - baseando-se em fatos, dados e utilizando métodos e modelos validados e largamente testados em produção. Uma vez tendo todos os elementos importantes para uma previsão e municiados com uma grande coleção de informações históricas, podemos assim talvez estimar. Considere a palavra estimar ao invés do prever. Estimar, segundo o dicionário, é o cálculo de valor aproximado que se realiza sobre alguma coisa. Diferente de prever, onde o significado também do dicionário, menciona as palavras supor, adivinhar ou profetizar, quando estimamos um valor estamos buscando nos aproximar do valor real, tendo como base um conjunto de informações pertinentes para que possamos utilizar esse tal conhecimento para estar próximos ao alvo. Como premissa do ter um histórico, o volume de informações disponíveis vai ditar o quão bem estamos em posição de propor um valor durante um processo de estimativas.

O saber é parte fundamental nas organizações para a definição de uma melhor estratégia de serviço ou operação que estamos a atuar. Neste trabalho, vamos discorrer sobre o cenário de acidentes de trânsito em rodovias concedidas a iniciativa privada. Os acidentes de trânsito além de produzir impactos financeiros e econômicos a todos envolvidos, são agentes de pesar para as vítimas e todas as pessoas que gravitam como parte interessada emocionalmente do problema. Com o foco nos impactos operacionais no ecossistema de seguros, o problema aqui a ser tratado também pode auxiliar em políticas públicas que visam a diminuição de tais eventos em nossas estradas.

Para entender o cenário, apresentaremos um panorama das concessões de rodovias no Brasil, bem como detalhes históricos e informações sobre as rodovias e concessões que estão no escopo deste exercício. Além dessa breve introdução ao tema de concessões, iremos discorrer sobre o crescimento da frota de veículos brasileira ao longo das duas últimas décadas. Neste sentido, o aumento quase que exponencial da frota resulta em uma probabilidade maior das ocorrências de eventos, uma vez que aumentamos de maneira correlata o fluxo de veículos nas estradas e rodovias.

Para a proposta de estimar o número de acidentes nos meses subsequentes a fim de garantir os recursos necessários para operação, utilizaremos alguns dos modelos de previsão

mais utilizados atualmente. Métodos estes que não são novos, foram criados e propostos décadas atrás por brilhantes matemáticos e estatísticos, mas que hoje, graças ao poder computacional disponível, e desenvolvedores que puseram em prática tais modelos e facilitaram a adoção pela comunidade, podem ser facilmente aplicados e ajudam diversas organizações, órgãos, governos e entidades no melhor controle e alocação de seus recursos.

## **1.1 – Tema**

A análise de séries temporais tem se tornado um tópico de imensa relevância no campo da ciência e análise de dados ultimamente. Muito se deve a sua capacidade de mensurar uma ou mais variáveis ao longo de uma série histórica e extrair informações importantes para entender o comportamento de uma observação ao longo de períodos, identificar sazonalidades e similaridades com períodos passados, saber a direção de determinado dado e a correlação com outras variáveis e séries temporais. Além disso, é extremamente comum o uso de modelos de previsão para entender e prever valores futuros baseados em seu histórico.

Com toda essa gama de possibilidades dentro de uma análise de séries temporais, visamos a aplicação de tais práticas e modelos dentro de dados públicos de acidentes de trânsito em rodovias em concessão. Utilizando como fonte de dados os relatórios de acidentes disponíveis (ANTT), dados da frota nacional (DENATRAN) ao longo dos últimos 20 anos e o volume de tráfego de veículos nas praças de pedágio das rodovias em questão. O objetivo final é realizar uma análise detalhada de tais valores e a criação de modelos de previsão auto regressivos que possam estimar os números de acidentes nos próximos períodos.

## **1.2 – Justificativa**

Segundo Carvalho e Rabetti (2015, p7) no relatório do Instituto de Pesquisas Aplicadas em conjunto com o Departamento de Polícia Rodoviária Federal, os acidentes de transporte terrestre no Brasil matam aproximadamente 43 mil pessoas por ano e representa uma das principais causas de mortalidade no país. Tais números não refletem diretamente todos os investimentos, custos e recursos despendidos no socorro, prevenção e manutenção que estes acidentes resultam. Há impactos diretos no orçamento público e na renda das famílias impactadas, além dos custos elevados na manutenção das operações das concessionárias que

refletem diretamente nos valores praticados de pedágio e todos terceiros e parceiros, como seguradoras, rede de assistência médica/saúde e vida.

Com os valores atuais ajustados de previsões, todos os envolvidos diretamente e indiretamente podem melhor ajustar seus recursos e operações para que tenham uma ótima utilização e absorva com excelência os impactos relativos a tais acidentes. As concessionárias podem se antecipar, melhor avaliar os pontos críticos e criar campanhas efetivas nos períodos de maior risco, a rede de assistência médica pode se antecipar a disponibilização de recursos aptos e prontos a prestar o socorro devido, as seguradoras e corretoras de seguro também podem antecipar a utilização dos recursos para administração dos sinistros e flexibilizar tais operações nos períodos de maior e menor utilização de seus serviços. Há uma gama de oportunidades com os resultados obtidos desta análise e modelagem e o objetivo deste trabalho é justamente prover um modelo simples e de fácil interpretação destes dados a fim de prover as informações suficientes que possam embasar as decisões dos órgãos e entidades interessadas no tema.

O interesse e motivação para realização do trabalho surgem da experiência com a operação de sinistros (todo evento em que um bem segurado sofre um acidente ou prejuízo resguardado nas condições e cláusulas de uma apólice de seguro) em uma corretora de seguros responsável pela gestão dos sinistros de grandes concessionárias, que atualmente são responsáveis por grande parte das rodovias concedidas, onde estas previsões e estimativas auxiliam no controle do fluxo operacional e gerenciamento de recursos humanos necessários para o atendimento de tais eventos. Garantindo assim um melhor planejamento e otimização da força de trabalho disponível no setor.

### **1.3 – Objetivos**

Analisar os dados públicos de acidente de trânsito em concessões, enriquecendo tais informações e criando modelos de previsão do número de acidentes. Tomando como base, dados históricos a sazonalidade dos acidentes e aumento da frota de veículos nacional.

Durante o processo de análise de tais dados, identificar quais modelos devem ser utilizados para previsões tomando como base as especificações de dados disponíveis, aplicação dos modelos em um conjunto de dados de teste comparando os resultados obtidos com os dados reais e comparando a discrepância da estimativa x real.

## 1.4 – Delimitação

Os dados analisados são dados públicos e por obrigações do processo de concessão devem ser divulgados periodicamente pelas entidades jurídicas responsáveis pelas vias. Com isso, o escopo deste trabalho é limitado a dados de rodovias concedidas. Todas futuras aplicações devem ser restritas ao mesmo modelo, utilizando em rodovias com tais características que porventura são intrínsecas e obrigações legais, como o cumprimento de requisitos de segurança das vidas – tais itens podem não serem observados em outros lugares.

Há diversos dados importantes que poderiam ser cruciais para uma melhor estimativa, porém não estão disponíveis ou disponíveis apenas parcialmente, como os seguintes exemplos:

- Licenças de viagem de serviços de frete (mercadorias) – atualmente as entidades públicas somente tornam disponíveis os dados de serviços de transporte de passageiros. Não de mercadorias.
- Investimento por concessão – Os dados públicos de investimento por concessão possuem dados faltantes para diversas concessões e anos.
- Indicador condições do pavimento (ICM) – Somente abrange determinadas rodovias e parcialmente sua extensão. Não contempla rodovias em concessão.

## 1.5 – Metodologia

A metodologia utilizada leva em consideração pesquisas bibliográficas, informes e relatórios produzidos por órgãos competentes e entidades de regulação, processo de curadoria de informações públicas que possam enriquecer a base de informações, desenvolvimento das análises de séries temporais e exploratória dos dados e a apresentação dos resultados obtidos de todos os modelos executados, bem como a otimização dos parâmetros.

Como base fundamental do processo, o modelo de trabalho OSEMN serviu como base para uma melhor estratégia de execução. Os autores sugerem 5 etapas de um projeto de ciência de dados (KUMARI, BHARDWAJ e SHARMA, 2020, p2):

- Obter (*Obtain*) – Obter os dados. Atuar no processo de procura de fontes disponíveis e agregar tais informações a fim que fiquem disponíveis durante toda a execução;
- Limpeza de dados (*Scrub Data*) – Essencialmente o processo de limpeza de dados. Aplicam-se técnicas como: remoção de linhas com valores em branco ou nulos e o preenchimento de outros com cálculos estatísticos e sugestivos.

- Explorar os dados (*Explore Data*) – Análise exploratória de dados. Entender de fato os dados apresentados, sua variação e completude. Aplicar técnicas de análise descritiva e obter estatísticas gerais.
- Modelagem de dados (*Model Data*) – Utilização de técnicas de aprendizado de máquina ou modelos estatísticos.
- Interpretar os resultados (*Interpret results*) – Interpretar e apresentar os resultados obtidos durante a fase de modelagem.

## 1.6 – Descrição

No **capítulo 2** será apresentado o embasamento teórico, demonstrando as pesquisas bibliográficas que dão suporte ao tema e a execução. Os conceitos são descritos em detalhes e todos os pontos citados nos demais capítulos explanados de maneira simplificada a fim de que o leitor tenha plena compreensão e acompanhe o raciocínio ao longo do decorrer da leitura.

No **capítulo 3** os detalhes da problematização, os detalhes da aplicabilidade, informações técnicas focadas no estudo e no objetivo final deste trabalho. Serão apresentadas as propostas tecnológicas em detalhe incluindo os planos de execuções. As tecnologias envolvidas também serão detalhadas.

No **capítulo 4** os resultados obtidos de cada modelagem e propostas serão descritos e esmiuçados a fim de que possamos identificar as melhores abordagens para o problema.

No **capítulo 5** as notas de considerações finais. Além de propor trabalhos futuros que possam enriquecer a discussão sobre o tema proposto e apoiar no incremento da capacidade de gerar melhores previsões com os modelos.



# CAPÍTULO 2

Nesta seção apresentaremos os conceitos teóricos e as definições relacionadas ao estudo do cenário de acidentes em rodovias concedidas no Brasil, bem como a análise de dados para apresentar um panorama e informações que possam fundamentar os estudos que serão esmiuçados na proposta de valor no capítulo 3.

A didática empregada leva em consideração que os primeiros estudos sejam feitos a fim de ambientar o leitor nas características do campo de estudo e fornecer informações valiosas a respeito dos miúdos acerca das entidades envolvidas (sejam públicas ou privadas). Nos demais tópicos e subtópicos, serão discorridos acerca dos temas técnicos utilizados na execução das análises.

## 2.1 – PANORAMA GERAL DE CONCESSÕES NO BRASIL

Em 1988 o decreto de número 94.002 autorizou o então Departamento Nacional de Estradas e Rodovias (DNER) a contratar sob regime de concessão a construção e exploração da malha rodoviária. Após 05 anos, uma portaria do Ministério dos Transportes cria um grupo especializado para implantar o programa de concessões em rodovias federais. Um ano após a criação do grupo, é assinado o primeiro contrato de concessão – Ponte Rio e Niterói, em sequência a Linha Amarela no município do Rio de Janeiro e Linha Azul em Santa Catarina. Criada em 1995, a lei de número 8.987 dispõe sobre o regime de concessão e permissão de prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da constituição federal permite que o sistema de concessões de rodovias seja previsto como prática pelos órgãos públicos. Neste mesmo ano, outros contratos são assinados: Rodovia Presidente Dutra, Rio-Teresópolis e Juiz de Fora-Rio de Janeiro.

Segundo a Associação Brasileira de Concessionária de Rodovias em seu portal sobre o crescimento da demanda no modal rodoviário:

*“O modal rodoviário cresceu apenas 0,5% no período entre 2009 e 2017, mesmo sendo responsável pela movimentação de 61% das cargas e de 95% dos passageiros do País. Nesses oito anos, o crescimento da frota de veículos foi de 65,4%. É evidente o descompasso de oferta e demanda.”<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dados apresentados pela ABCR em seu portal. Disponível em: <https://abcr.org.br/setor/concessionarias/sobre-a-concessao>, Acessado em: 18 Out, 2021.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito investiu em 2014 cerca de R\$ 10.38 bilhões de reais no modal, ao passo que o investimento de 2018 foi de apenas R\$ 6 bilhões.<sup>1</sup> Com o valor de investimento em rodovias em declínio nos últimos anos, surge um grande problema de desgaste na situação atual da malha rodoviária.

Neste descompasso do crescimento da frota de veículos nacional e a larga utilização das rodovias como principal meio de transporte de passageiros e mercadorias, o modelo de negócios por meio de concessões se torna quase que uma alternativa única para a solução do país. *“Desde 1995 o setor privado investiu cerca de R\$ 180 bilhões em melhorias e operação das concessões sob a sua gestão, uma malha rodoviária que inicialmente era de 600km e agora atinge 20.264 quilômetros de extensão, sendo 9.235km de estradas federais.”*. Segundo a Associação Brasileira de Concessionárias Rodoviárias (ABCR), estima-se um potencial de R\$ 25 bilhões a serem destinados a modernização e melhoria de 10 mil quilômetros de rodovias federais.

Apesar da concessão das rodovias para administração de entidades privadas, a lei e as normas reguladoras imputam a responsabilidade de fiscalização dos cumprimentos das cláusulas contratuais a Agência Nacional de Transporte Terrestres (ANTT) para os casos das rodovias federais, e para as agências estaduais onde existam concessões feitas pelos estados. Não somente os órgãos citados, mas também todo aparato do poder legislativo e tribunais de contas também exercem o mesmo direito de fiscalização. A legislação permite a possibilidade da criação de comissões de usuários ou tripartite (concessionaria, usuários e poder legislativo) para acompanhar os trabalhos de manutenção, melhorias e as qualidades da rodovia. Desta maneira, é garantido deveres e obrigações para as concessionárias a fim de que todo investimento retorne como benefício para a sociedade.

No sentido do objetivo da execução das análises que serão abordadas nos próximos capítulos, tais análises só se tornam possíveis devido a obrigatoriedade das concessionárias no registro, estudo e apresentação dos dados de acidentes que porventura são publicados nos portais de transparência. Possibilitando assim que entidades, estudantes e profissionais possam analisar com uma riqueza de informações o cenário de acidentes nas rodovias federais e estaduais sob concessão. É possível tal informação servir como amostragem do cenário a nível nacional, desde que os critérios de aceitação desta análise obedçam aos limites de comparação devidos, muito em favor das discrepâncias observadas em termos de qualidade do pavimento, sinalização e estrutura em confronto com as demais estradas do modal rodoviário.

---

<sup>1</sup> Dados apresentados pela ABCR em seu portal. Disponível em: <https://abcr.org.br/setor/concessionarias/sobre-a-concessao>, Acessado em: 18 Out, 2021.

O quadro 2.1 a seguir apresenta a lista de concessões com as informações acerca da cidade/estado principal, sua extensão e quando foi o início da atuação da concessionária que administra a rodovia e que estão no escopo da análise de acidentes meta deste trabalho e de todo seu contexto:

Quadro 2.1 – Lista das concessões membros de ABCR

<b>Concessão</b>	<b>Cidade/Estado</b>	<b>Extensão</b>	<b>Início</b>
Rodovia do Aço	Vassouras / RJ	200,400 km	27/03/2008
Autopista Fluminense	Niterói / RJ	322,000 km	02/02/2009
Autopista Fernão Dias	Pouso Alegre / MG	562,100 km	15/02/2008
Autopista Litoral Sul	Joinville / SC	405,900 km	22/02/2009
Autopista Planalto Sul	Rio Negro / PR	412,700 km	19/12/2008
Autopista Régis Bittencourt	Registro / SP	401,600 km	15/02/2008
Via Bahia	Salvador / BA	680,600 km	07/12/2010
CONCEBRA	Goiás / GO	1.176,5 Km	05/03/2014
CONCER	Juiz de Fora/MG	180 Km	01/03/1996
Rota do Oeste	Cuiabá / MT	850,900 km	06/09/2015
Rio-Teresópolis	Rio de Janeiro / RJ	142,5 Km	22/03/1996
ECO50	Uberlândia / MG	436,600 km	08/01/2014
ECO101	Serra / ES	475,900 km	10/05/2013
ECO PONTE	Niterói / RJ	23,300 km	01/06/2015
ECO SUL	Pelotas / RS	457,300km	24/07/1998
ECOVIAS Do Cerrado	Uberlândia / MG	437,000 km	20/01/2020
Mato Grosso Via	Campo Grande / MS	845,400 km	14/09/2015
Nova Dutra	Santa Isabel / SP	402,000 km	01/03/1996
Transbrasiliana	Divisa SP/PR	321 km	18/02/2008
Via 40	Juiz de Fora/MG	936,8 Km	22/04/2014
Via Costeira	Tubarão / SC	220,42 km	06/07/2020
Via Sul	Porto Alegre / RS	473,400 km	15/02/2019

Fonte: ABCR, 2021 – Disponível em <https://abcr.org.br/setor/concessionarias/relacao-de-empresas>, Acessado em 18 Out, 2021.

No quadro 2.1 apresentada acima, citamos todas as concessões que possuem informações de acidentes publicadas no site da ANTT (e disponibilizadas no portal de dados do Governo Federal).

A tabela 2.1 a seguir apresenta o valor consolidado de número de veículos nas praças de pedágio das concessionárias que participam da ACBR. Nota-se um acréscimo no volume de tráfego total ao longo dos anos desde o início da coleta de informações. Vale grifar a quebra na crescente no ano de 2020, tendo como o principal motivo a crise de saúde mundial em que teve início neste ano. Crise que foi causada pela pandemia de COVID-19 (Sars-Cov19). Este dado visa apresentar histórico e crescimento do volume de veículos que trafegaram nesta rodovia.

Tabela 2.1 – Quantidade de veículos pedagiados. Em milhões.

<b>Ano</b>	<b>Leves</b>	<b>Pesados</b>	<b>Motos</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Isenções</b>	<b>Total</b>
2005	447.155	166.113	2.753	616.021	27.426	643.447
2006	457.747	167.332	2.767	627.845	29.336	657.182
2007	490.733	177.963	3.353	672.048	35.150	707.198
2008	531.834	190.004	7.450	729.289	38.925	768.214
2009	719.080	269.681	12.167	1.000.928	43.449	1.044.377
2010	941.826	361.789	18.935	1.322.550	41.136	1.363.686
2011	1.054.881	406.769	21.921	1.483.571	42.553	1.526.124
2012	1.137.946	424.019	23.933	1.585.898	45.203	1.631.101
2013	1.171.759	430.428	23.349	1.625.535	45.932	1.671.468
2014	1.189.821	416.776	23.609	1.630.206	45.610	1.675.816
2015	1.255.333	423.382	26.994	1.705.709	48.042	1.753.752
2016	1.280.426	426.735	29.114	1.736.275	51.008	1.787.283
2017	1.320.803	431.003	30.533	1.782.339	52.610	1.834.949
2018	1.268.384	427.653	28.216	1.724.253	61.891	1.786.143
2019	1.247.805	432.059	28.876	1.708.740	64.034	1.772.774
2020	1.005.136	411.062	25.600	1.441.798	50.482	1.492.280

Fonte: ABCR, 2021 – Disponível em <https://abcr.org.br>, Acessado em 18 Out, 2021.

O gráfico da figura 2.1 a seguir apresenta visualmente o crescimento deste volume desde o início de sua captura de dados.

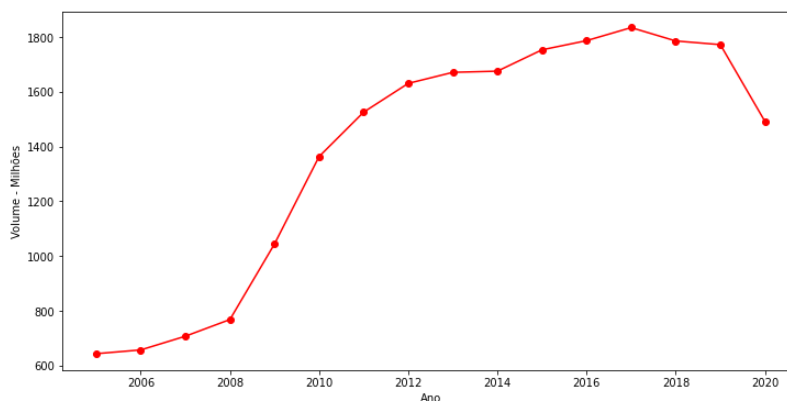


Figura 2.1 – Volume de veículos em praças de pedágio ao longo dos anos.  
Fonte: Autor

## 2.2 SOBRE O AUMENTO DA FROTA BRASILEIRA

Como objeto de estudo os acidentes de trânsito em rodovias, um ponto muito importante de nossa análise em busca da explicação para o crescimento ao longo dos anos é a sua exposição e probabilidade de ocorrência do risco através do volume da frota de veículos no Brasil. Com toda essa expansão ocorre um fenômeno da deterioração das condições de trânsito em consequência de maior tráfego de veículos criando novas possibilidades de conflitos e pressionando os índices de acidentes em nossas rodovias.

Em janeiro de 2003 contávamos com uma frota de 35.708.673 veículos segundo os dados do DENATRAN, 18 anos depois a frota brasileira conta com total de 110.255.577 veículos, representando um aumento de mais de 300%. Apesar desse aumento, o crescimento populacional não acompanhou tal crescimento, também no ano de 2003 contávamos com cerca de 180 milhões de habitantes, atualmente somos 213 milhões – um crescimento de 18%, muito distante da aceleração em nossa frota de veículos nacional. A tabela 2.2 a seguir, visa apresentar o crescimento em números da frota:

Tabela 2.2 – Quantidade total de veículos por ano na frota brasileira

<b>Ano</b>	<b>Quantidade Total</b>	<b>Percentual Crescimento</b>
2003	36.658.501	0,00%
2004	39.240.875	7,04%
2005	42.071.961	7,21%
2006	45.372.640	7,85%
2007	49.644.025	9,41%
2008	54.506.661	9,80%
2009	59.361.642	8,91%
2010	64.817.974	9,19%
2011	70.543.535	8,83%
2012	76.137.191	7,93%
2013	81.600.729	7,18%
2014	86.700.490	6,25%
2015	90.686.936	4,60%
2016	93.867.016	3,51%
2017	97.091.956	3,44%
2018	100.746.553	3,76%
2019	104.784.375	4,01%
2020	107.948.371	3,02%
2021	110.255.577	2,14%

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2021 – Disponível em <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>, Acessado em 18 Out, 2021.

Apesar de triplicar a quantidade de veículos na frota brasileira desde os anos 2003 até os dias atuais, o crescimento ano a ano apresenta um percentual de cerca de 8% nos primeiros anos e uma forte diminuição deste ritmo a partir do ano de 2014. Hoje chegando a um patamar de apenas 2,14%. Certo que a última medição da frota disponibilizada foi do mês de agosto, o que ainda há meses posteriores no ano que podem aumentar este percentual, porém não chegaremos nem perto do patamar que acompanhamos na década passada. Existem inúmeros fatores econômicos e sociais que podem explicar essa desaceleração que estão além do escopo

deste exercício, mas que seriam de grande valia a fim de entender melhor os motivos e razões desta tendência.

Na figura 2.2 o gráfico apresenta a linha de crescimento desde o início da medição em 2003 até os valores apresentados em agosto de 2021.

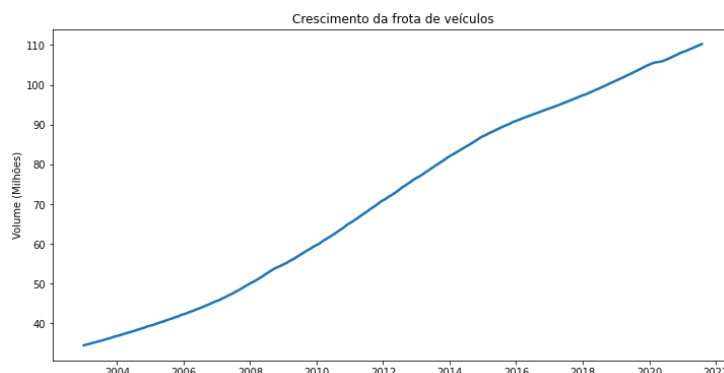


Figura 2.2 – Volume da frota de veículos nacional ao longo dos anos  
Fonte: Autor

Conforme também mencionado, na figura 2.3 o gráfico de linhas apresenta o percentual de crescimento da frota com a variação de comparação de um ano. Podemos ver claramente que o saldo ainda é positivo, porém com uma desaceleração no crescimento desta frota de um ano para o outro.

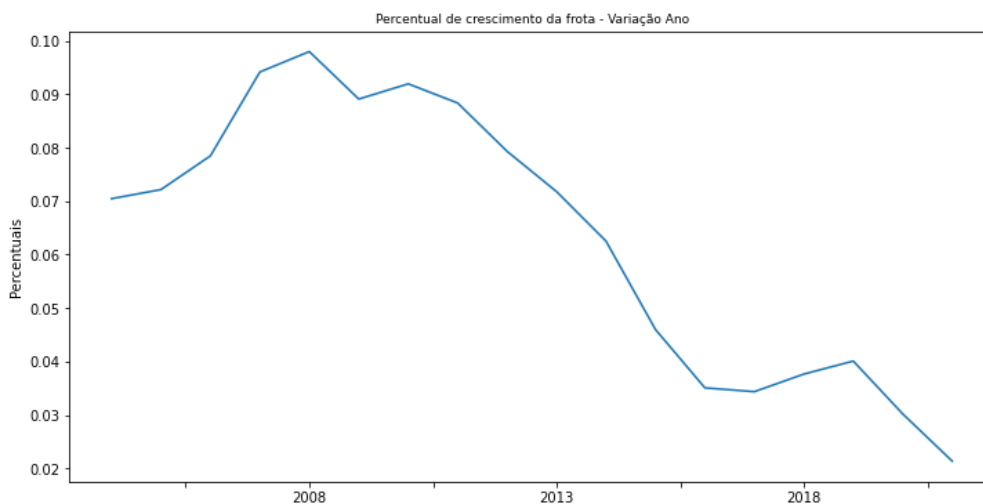


Figura 2.3 – Percentual de crescimento da frota. Variação anual  
Fonte: Autor

É importante também pontuar o crescimento por tipo de veículo na frota. Focaremos nas categorias com o maior volume e comumente encontrado em nosso cotidiano.

Apresentando os valores de motocicletas, podemos ver que há um percentual de crescimento altíssimo. Assim como os valores totais nos últimos anos apresenta uma grande desaceleração de seu crescimento. Já os valores referentes a automóveis nos mostram um crescimento mais suave e decréscimo brusco nos últimos anos conforme a tabela 2.3 discorre.

Tabela 2.3 – Quantidade e o percentual de crescimento de autos e motocicletas

<b>Ano</b>	<b>Quantidade Motocicletas</b>	<b>Percentual Motocicletas</b>	<b>Quantidade Automóveis</b>	<b>Percentual Automóveis</b>
2003	5332056	0%	23669032	0%
2004	6079361	14%	24936451	5%
2005	6934150	14%	26309256	6%
2006	7989925	15%	27868564	6%
2007	9410110	18%	29851610	7%
2008	11045686	17%	32054684	7%
2009	12415764	12%	34536667	8%
2010	13950448	12%	37188341	8%
2011	15579899	12%	39832919	7%
2012	16910473	9%	42682111	7%
2013	18114464	7%	45444387	6%
2014	19242916	6%	47946665	6%
2015	20216193	5%	49822709	4%
2016	20942633	4%	51296982	3%
2017	21608568	3%	52916160	3%
2018	22339110	3%	54715488	3%
2019	23165586	4%	56652190	4%
2020	23862010	3%	58016405	2%
2021	24412302	2%	58850554	1%

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2021 – Disponível em <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>, Acessado em 18 Out, 2021.



Demonstrando o mesmo comportamento de maneira gráfica, apresentado na figura 2.4 no gráfico no podemos ver os comparativos dos dois tipos de maneira visual com os seguintes recursos:

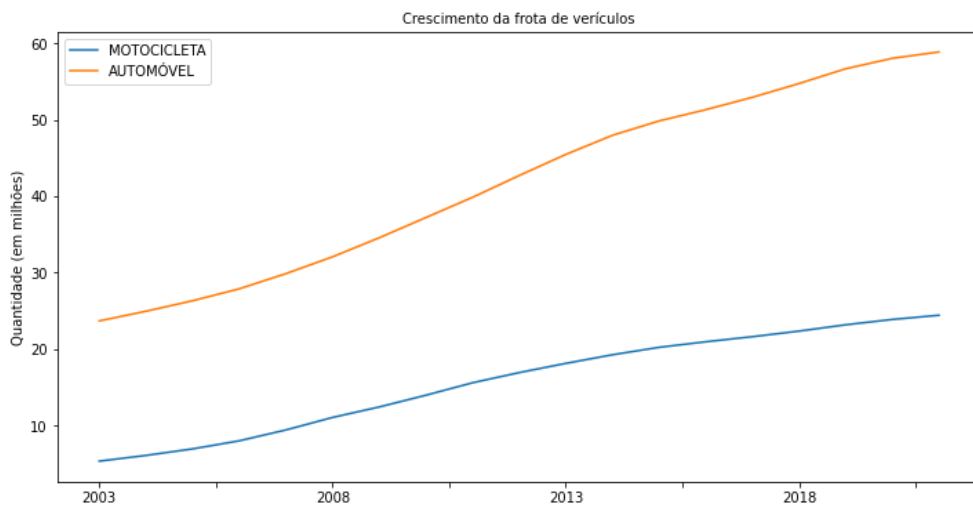


Figura 2.4 – Crescimento da frota de veículos do tipo automóvel e motocicleta  
Fonte: Autor

## 2.3 HISTÓRICO DE ACIDENTES E PERFIL

Antes de apresentar os dados, é preciso levar o leitor a conhecer o panorama de informações disponíveis de acesso público. A administração das estradas e rodovias é compartilhado por órgãos de diferentes esferas da administração pública: para as rodovias em regime de concessão a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é a responsável por regular as atividades de exploração de infraestrutura rodoviária federal e fiscaliza a execução de contratos de concessões das rodovias federais entregues a iniciativa privada<sup>1</sup>. Dessa maneira a iniciativa privada é responsável pela monitoria dos eventos e compartilha todas estas informações com o órgão regulador e posteriormente são divulgadas de maneira transparente ao público. As rodovias federais não pedagiadas não são de atribuição da ANTT e sim do Departamento Nacional de Infraestrutura em Transporte (DNIT). As rodovias estaduais, pedagiadas ou não, estão sob a responsabilidade dos respectivos estados. Para estes casos, cabe aos órgãos competentes de patrulhamento o registro dos eventos. O banco de dados de acidentes de trânsito do DNIT é formado tomando-se por base os registros efetuados pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal - DPRF, nas rodovias federais sob jurisdição do DNIT, que os

remete à Coordenação Geral de Operações Rodoviárias - CGPERT/DIR, para processamento e crítica.<sup>1</sup>

Dado o cenário citado acima, existe uma falta de centralização desta informação que compartilhada, poderia ser de extremo valor na aplicação, confecção e controle das políticas públicas. No âmbito das rodovias federais concedidas e reguladas pela ANTT, há sim uma coesão e padronização das informações e todos os dados brutos são divulgados. Para os dados do DNIT, os dados são disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) em seu portal e com uma qualidade de informações, rica em detalhes importantíssimos para estudos deste campo de pesquisa. As demais rodovias estaduais os dados ficam disponíveis conforme cada órgão estadual competente as disponibiliza. Para fins deste estudo, vamos considerar apenas a massa de dados de acidentes em rodovias federais concedidas.

Desde o início da apuração, em 2010, as rodovias concedidas parte do escopo desta análise tiveram um número médio de acidentes de 61.779 e uma mediana de 63.142 acidentes por ano, dos quais cerca de 2% dos acidentes envolvendo fatalidades – uma média de cerca de 1.457 vitimados em 1.261 acidentes. Taxa de acidentes envolvendo mortalidades esta que parece ser um padrão quando observamos a análise de acidentes, mantendo um valor próximo a 2% em todos os anos, com um desvio padrão de apenas 150 acidentes, ou 0,0015 pontos percentuais. Não apenas um número, isso representa vidas perdidas em nossas rodovias e deve ser objeto de total estudo a fim de que novas práticas sejam adotadas pelos responsáveis e órgãos competentes buscando sempre uma redução significativa destes eventos, gerando uma consequência importantíssima: salvar vidas.

Tabela 2.4 a seguir apresenta os números completos de acidentes, mortalidade por ano em nossas rodovias:

Tabela 2.4 – Sumário de acidentes nas rodovias concedidas – 2010 a 2021

<b>Ano</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Diferença Percentual</b>	<b>Fatalidades</b>	<b>Vítimas fatais</b>	<b>%Fatalidade</b>
2010	53219	0%	1286	1447	2,4%
2011	58905	10,7%	1291	1490	2,2%

<sup>1</sup> Informações sobre a responsabilidade de cada entidades disponíveis em: <https://portal.antt.gov.br/web/guest/perguntas-frequentes>, Acessado em: 18 Out, 2021.

2012	59430	0,9%	1219	1435	2,1%
2013	59207	-0,4%	1238	1462	2,1%
2014	66036	11,5%	1387	1651	2,1%
2015	72900	10,4%	1502	1754	2,1%
2016	68697	-5,8%	1390	1618	2,0%
2017	68517	-0,3%	1325	1593	1,9%
2018	63257	-7,7%	1206	1338	1,9%
2019	64853	2,5%	1196	1359	1,8%
2020	63028	-2,8%	1207	1353	1,9%
2021	43291	-31,3%	885	983	2,0%

Fonte: ANTT, 2021 – Disponível em <https://dados.antt.gov.br/dataset/acidentes-rodovias>, Acessado em 10 Jan, 2022.

Última atualização dos dados de 2021 foi realizada em agosto deste mesmo ano. Com isso temos valores incompletos para realizar uma comparação clara com o ano anterior. Por esta razão observamos uma diferença de -31% comparados ao ano de 2020. É possível também afirmar que devido a pandemia mundial de COVID19, houve ajustes no cotidiano dos cidadãos onde podemos observar com clareza uma distorção no volume de acidentes nos meses iniciais após a declaração de pandemia no Brasil em março de 2020, vide o gráfico a seguir onde apresentamos a quantidade de acidentes em uma frequência diária e é possível reparar o desfoque no padrão observado nos anos anteriores. Após passado os primeiros períodos, também se identifica um retorno a naturalidade, seguindo a tendência e a sazonalidade desta série temporal conforme é explicitado na figura 2.5 a seguir.

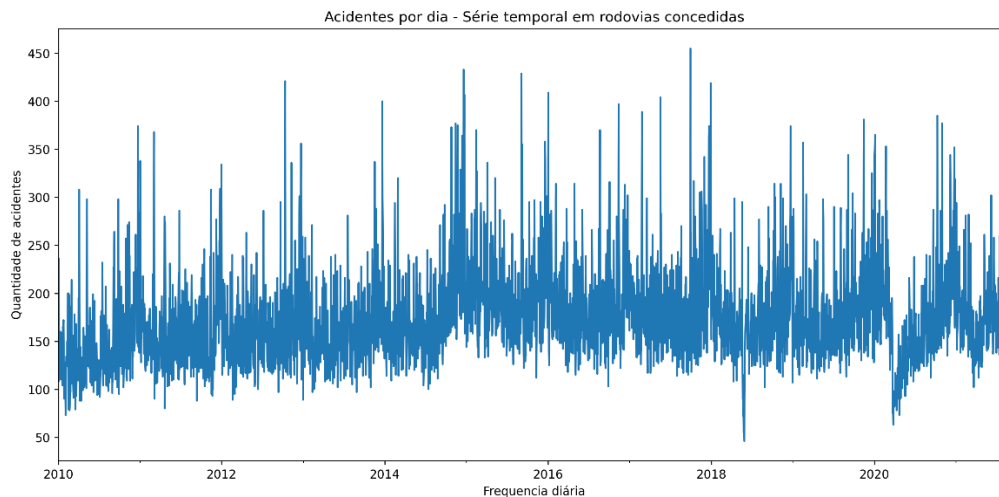


Figura 2.5 – Acidentes diários registrados nas rodovias concedidas a partir de 2010.  
Fonte: Autor

A seguir, apresentaremos na figura 2.6 um gráfico de barras onde podemos visualmente verificar o volume de acidentes por ano. Observando que 2021 somente foram apurados até agosto.

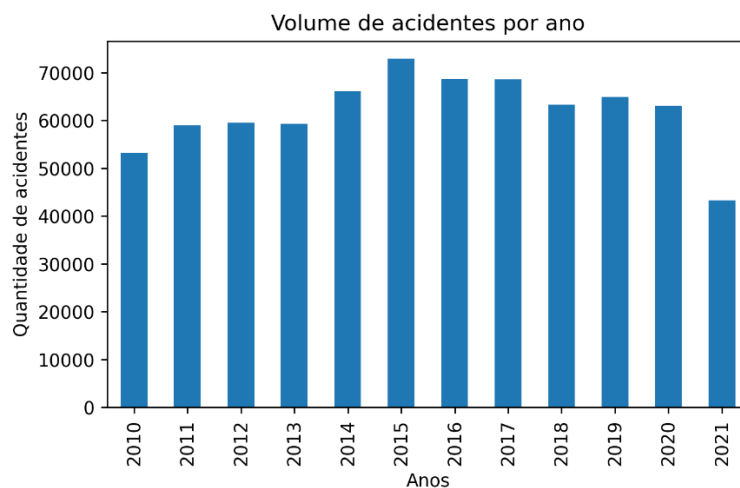


Figura 2.6 – Volume de acidentes por ano em rodovias concedidas.  
Fonte: Autor

Nem sempre é possível determinar cada detalhe envolvido e estimar os motivos de cada acidente, mas há alguns fatores que podemos observar causam maior incidência de eventos. Uma análise que podemos fazer é identificar os picos no volume olhando os períodos do dia e

semana. Neste sentido, observamos que os dias de semana críticos são quinta-feira e sexta-feira e os horários no turno da manhã por volta das 7h e o início da noite as 18h.

A fim de entender a frequência de acidentes e entender uma correlação simples foi utilizado como recurso visual a criação de mapas de calor conforme a figura 2.7. Onde o volume de acidentes foi cruzado com os valores de dia de semana e horário.

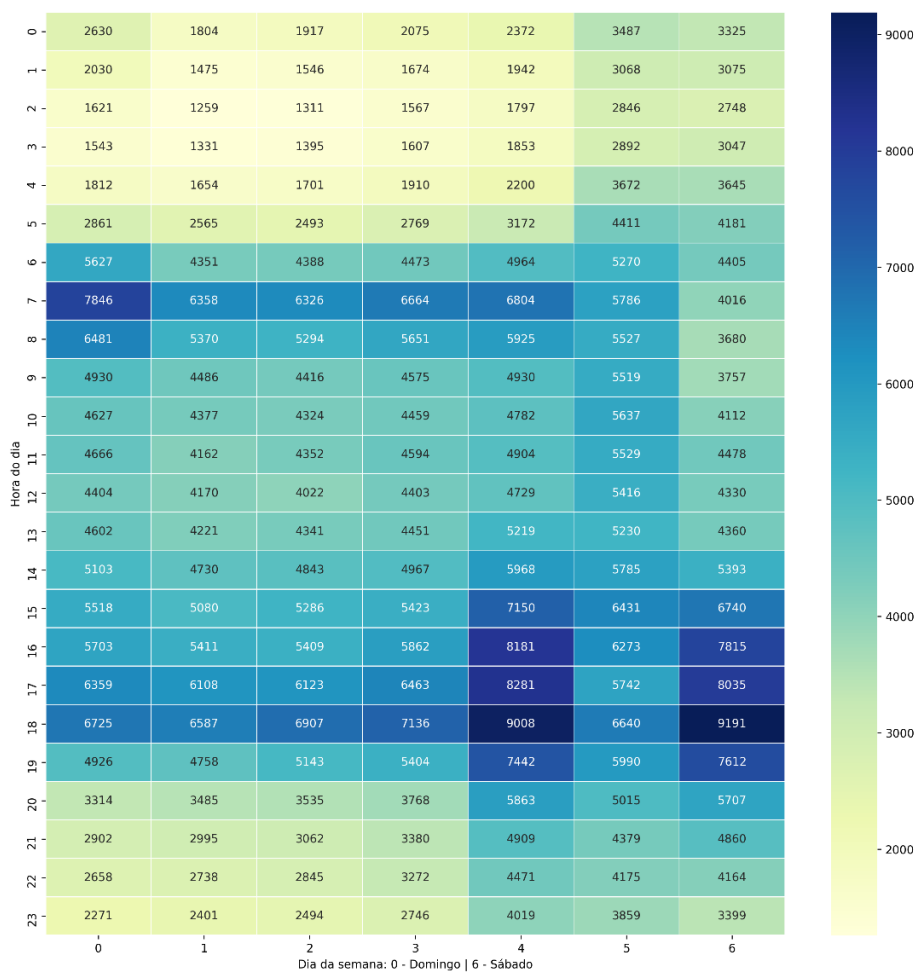


Figura 2.7 – Mapa de calor dos acidentes por dia da semana e horas.  
Fonte: Autor

Seguindo essa linha de análise de frequência, apresentaremos o mesmo modelo de gráfico na imagem 2.8 com os valores do percentual de acidentes fatais dentro do universo de acidentes totais da hora e dia da semana com o objetivo de analisar os períodos de maior incidência desta taxa. Observamos que o período noturno é o período de maior criticidade, independente do dia de semana, diferentemente do gráfico anterior, onde podemos ver que não há grandes diferenças significativas.

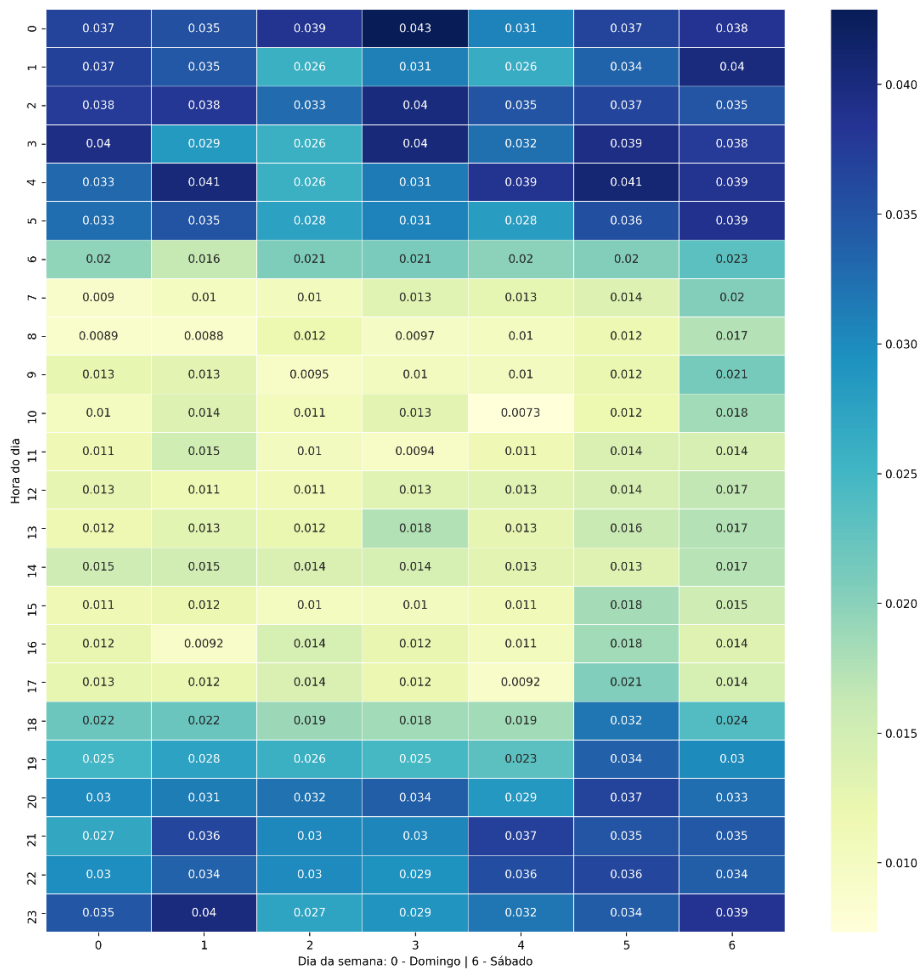


Figura 2.8 – Mapa de calor dos acidentes fatais por dia da semana e horas. Valores acidentes fatais divididos pelo total de acidentes no período.

Fonte: Autor

## 2.4 MODELOS DE PREVISÃO

A aplicação de modelos de previsão é comum no campo estatístico e ajudam organizações e pessoas na tomada de melhores decisões baseadas em previsões que buscam sempre representar o futuro da maneira mais aproximada possível. Sua área de aplicação é vasta e podem ser utilizadas em áreas como a produção industrial, transporte e planejamento financeiro. Segundo Hyndman e Athanasopoulos (2018) estimar é sobre prever o futuro da melhor maneira possível dada as informações disponíveis, incluindo informações históricas e conhecimentos sobre qualquer evento futuro que possa impactar.

Existem diversos sistemas de previsão baseados em modelos estatísticos, para cada novo desafio é preciso entender bem as nuances da informação, testar os modelos e obter os

resultados e otimizar a fim de comparar e selecionar o melhor modelo adequado a aquele problema específico.

Segundo Hyndman e Athanasopoulos (2018) uma tarefa de previsão geralmente é composta por cinco subtarefas básicas:

- Passo 1 – Definição do problema- definir o problema requer um entendimento claro do que planejamos estimar, quem requer esta previsão, e como um modelo de previsão atende a figura que está solicitando tal dado. Os responsáveis pelos estudos necessitam de um tempo entendendo o problema com as pessoas envolvidas na coleta, manutenção das bases e os usuários futuros deste dado.
- Passo 2 – Obtenção de informações – para um bom modelo de previsões, é muito importante ter uma massa de dados robusta, onde quanto maior o volume de dados históricos representa uma vantagem para melhor assertividade dos modelos.
- Passo 3 – Análise exploratória preliminar – entender os dados que serão analisados é um ponto fundamental. Nesta etapa realizam análises importantes para definição do tipo de modelo a utilizar e entende o comportamento dos dados durante a série histórica. Pontos como a identificação da sazonalidade (e quão forte é), a tendência, os *outliers* e as correlações são fundamentais.
- Passo 4 – Definindo modelo – após a identificação dos padrões e nuances dos dados, serão avaliados os modelos que mais se encaixam nestes perfis. Testar os modelos nos dados históricos de treino e identificar o que mais se aproxima dos valores reais.
- Passo 5 – Utilizando e avaliando os modelos – Uma vez o modelo é selecionado e os parâmetros escolhidos, é utilizado com valores reais na prática. O desempenho do modelo depende de fatores como dados históricos e nesta etapa deve ser levado em consideração reavaliar periodicamente (treino e avaliação) a fim de melhorar os resultados obtidos.

Os modelos de maior utilização em sistemas de previsão são: modelos de suavização exponencial e modelos *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Modelos de suavização exponencial foram propostos no final dos anos 50 por Brown, Holt e Winters e motivam alguns dos maiores métodos de sucesso na previsão. Este método usa a média ponderada das observações passadas, com seus pesos decaindo exponencialmente ao longo do tempo conforme Hyndman e Athanasopoulos (2018). Ou seja, quanto mais recente as observações maiores serão seus pesos associados. É um método que gera estimativas rápidas e precisas para uma grande variedade de series temporais, o que é uma grande vantagem para a

aplicação do modelo. Enquanto os modelos de suavização exponencial são baseados em tendência e sazonalidade das series, os modelos ARIMA tentam tratar a autocorrelação dos dados. São em si maneiras complementares para resolver os problemas de previsão.<sup>1</sup>

A aplicação destes modelos pode possibilitar uma grande vantagem competitiva e operacional para as empresas e organizações. A possibilidade de estimar o volume de uma determinada observação em um futuro a ser observado pode levar a uma melhor gerencia de suas operações e recursos, buscando a utilização ótima da estrutura para apoiar tal previsão.

Alguns casos de uso da aplicação destes métodos:

- Uma empresa de distribuição de energia elétrica precisa estimar o volume de consumo de seus consumidores com o objetivo de organizar suas operações para suportar os níveis esperados.
- Empresas de aluguel de automóveis precisam administrar sua frota de veículos controlando a oferta e demanda dos serviços. O aumento da frota ociosa leva a custos desnecessários. Da mesma forma não pode ter uma frota reduzida que venha impactar a possibilidade da oferta diversificada dos modelos de carros.
- O ecossistema de venda de apólices de seguros também sofre de sazonalidades. Além dos processos de emissão de documentos, há outras áreas de suporte aos clientes que necessitam estar bem estimadas para suportar o fluxo de processos de seus clientes. As corretoras de seguro, como empresas de serviço devem estimar suas operações a fim de suportar os níveis de demanda. Entender e estimar estes volumes é crucial no gerenciamento de suas operações.

---

<sup>1</sup> Texto como referência citado e extraído do capítulo 8 – *Arima Models* do website do livro *Forecasting: Principles and Practice*, Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018). Disponível em: <https://otexts.com/fpp2/arima.html>. Acessado em: 18 Out, 2021.



# CAPÍTULO 3

## Propostas Tecnológicas

Como parte do escopo de trabalho e atuação das concessionárias de rodovias, sua área operacional é de extremo valor e importância na manutenção da ordem e controle das estradas. Dentro dessa área existe uma grande diversidade de funções e empresas envolvidas em todo o processo que juntas trabalham em prol de uma melhor oferta de serviços. Vale destacar que este esforço é composto não só pela força de trabalho direta, que atua no dia a dia das rodovias, mas também em um ecossistema vasto de empresas parceiras, terceiras e contratadas para atuar em serviços de grande valor e que dependem exclusivamente das nuances de eventos que ocorrem nas concessões. Neste sentido, a proposta de valor que este trabalho visa atuar é na melhoria da oferta de serviços de corretores de seguros que atuam em conjunto com as concessionárias na regulação e administração dos sinistros provenientes dos acidentes de trânsito.

Com o objetivo de assegurar a saúde financeira das concessões, as concessionárias buscam aliviar o risco financeiro exposto sobre acidentes em suas rodovias através da contratação de apólices de seguros. Existem inúmeros produtos criados pelo mercado segurador para atender essas grandes companhias, desde apólices de responsabilidade civil (de diversos tipos), erros e omissões e até lucros cessantes. Como parte do trabalho dessas corretoras, o apoio com a abertura, regulação, documentação e encerramento do sinistro faz parte do dia a dia das equipes. Esse esforço dispendido neste processo está totalmente correlacionado com o volume de acidentes que ocorrem diariamente nas estradas concedidas. Estimar este número de acidentes representa uma vantagem operacional e competitiva que seria um diferencial para qualquer corretor de seguros que trabalhe com esses seguros.

Nesta proposta, estamos focados em atuar para estimar os valores de acidentes e explorar isso como vantagem operacional para as corretoras. Ademais a isso, esses resultados também podem ajudar outras áreas de negócio deste ecossistema de seguros, como a emissão de apólices, subscrição do risco e a negociação de melhores condições comerciais.

### 3.1 – Ferramentas e dados

A procura pela obtenção de dados foi realizada através da consulta de trabalhos existentes referentes ao tema e a consulta dos portais dos órgãos e entidades que atuam neste setor. Exploramos também os dados públicos de órgãos federais e estaduais.

Após intensa procura, agregamos os dados disponibilizados a fim de realizar um trabalho de curadoria e entendimento. Dados obtidos:

- a) SUSEP: Superintendência de seguros privados – onde buscamos informações de sinistros e valores. Os dados disponibilizados apenas refletem os valores totais agregados por tipo de apólice, mas não especificam o setor ou os detalhes. Por fim, descartamos sua utilização. (SUSEP, 2021)
- b) ABCR: Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias – apesar de oferecer uma gama de informações bem formatadas, os valores de detalhes apenas suportam as concessionárias que aderiram a esta associação. Portanto não refletiam os valores em sua totalidade. (ABCR, 2021)
- c) DENATRAN – órgão do ministério da infraestrutura, o Departamento Nacional de Trânsito, oferece informações acerca da frota brasileira de veículos. (DENATRAN, 2021)
- d) ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestres – criada para regular as concessões, os dados de acidentes nas rodovias concedidas são disponibilizados com data início de coleta de janeiro de 2010 (ANTT, 2021)
- e) PRF – Polícia Rodoviária Federal – órgão de patrulhamento das rodovias federais. Contém dados de acidentes com uma grande riqueza de detalhes. Porém, não oferecem informações sobre acidentes em rodovias concedidas.

Como instrumento de ferramentas para o desenvolvimento das soluções propostas, serão utilizados algoritmos e modelos previamente desenvolvidos e disponibilizados através de bibliotecas na linguagem de programação Python. Através de programação na mesma linguagem realizaremos a consolidação dos arquivos, tratamento de dados e limpeza deles para que os modelos executem e forneçam os resultados que esperamos.

### 3.2 – Preparação dos dados

Para fins de análise, os dados foram baixados e armazenados em dispositivo local. O quadro 3.1 apresenta as fontes de dados e informações.

Quadro 3.1 – Fontes de dados

<b>Dado</b>	<b>Fonte</b>
Acidentes nas rodovias	Portal ANTT
Veículos em pedágio	Portal ANTT
Frota de veículos	DENATRAM

Para que os dados possam ser processados através dos modelos estatísticos de previsão que utilizaremos nas propostas 1 e 2 deste trabalho, algumas etapas importantes do processo de tratamento de dados foram aplicadas. Este *pipeline* de processamento é formado pelas seguintes atividades:

- 1) Captura da informação e armazenagem – em tal processo os dados foram capturados e armazenados com seu nome original. Para ambos os conjuntos de dados a mesma regra foi aplicada.
- 2) Concatenação de todos os arquivos. A junção de todos os arquivos em um único conjunto de dados que compartilham as mesmas colunas.
- 3) Ajustes na nomenclatura dos campos de Estado e Concessionária. Nesta etapa consolidamos o formato dos dados de Estado por extenso (uma vez que nem todos os anos possuíam este padrão e correções nos nomes das concessionárias).
- 4) Agrupamento dos dados por mês e o somatório do número de acidentes do histórico.
- 5) Concatenação de colunas do conjunto de dados de acidentes e de veículos em pedágio. Permanecendo cada linha com o mês e seu respectivo número de acidentes e veículos.
- 6) Armazenagem do resultado em um único conjunto de dados. Que posteriormente será utilizado para execução e atualização do modelo.

Após todo processo de tratamento, os valores consolidados por mês apresentam uma melhor visualização gráfica do volume e sua tendência conforme apresentado na figura 3.1 referente ao quantitativo de acidentes e na mesma figura o volume de veículos contados no pedágio. Dentro deste tratamento ignoramos a concessionária de origem do evento e passamos a lidar com o volume total em todas as rodovias.

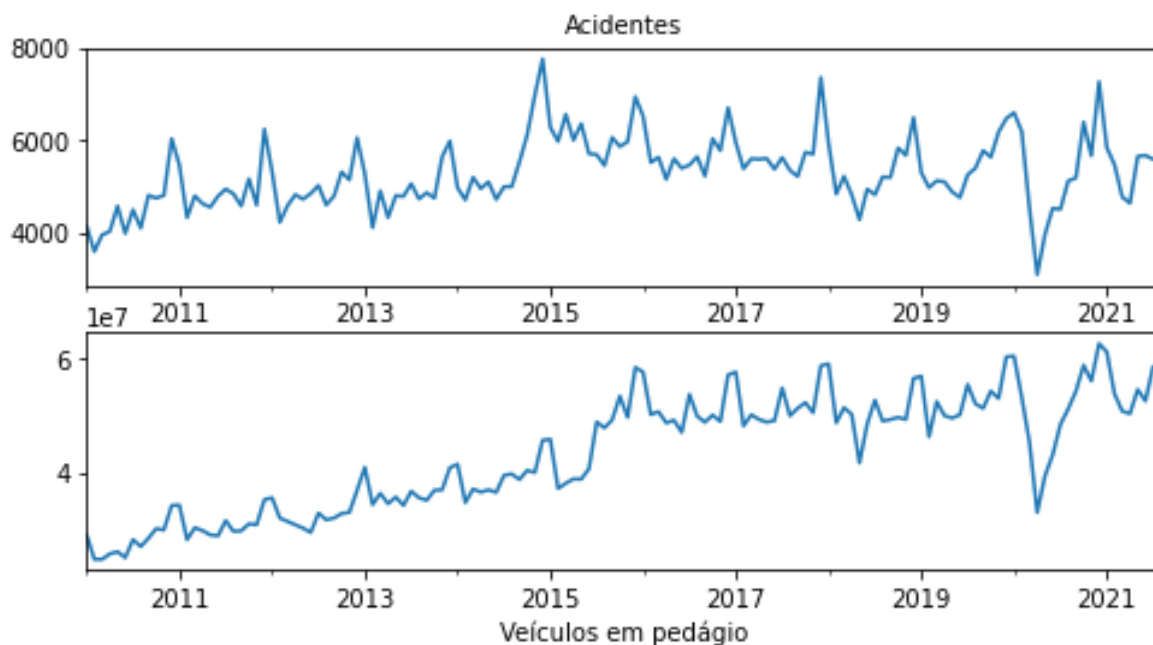


Figura 3.1 – Volume de acidentes e veículos em pedágio.  
Fonte: Autor

### 3.3 – Proposta 1

Na primeira proposta, após toda execução do trabalho de consolidação e limpeza dos dados, realizaremos uma análise exploratória a fim de conhecer os dados objetos de estudo. Utilizaremos a série de dados histórica fornecida pela ANTT de acidentes e de pedágio para construir um modelo capaz de estimar valores futuros baseado na autocorrelação, média móvel e sazonalidade dos dados históricos. Como resultado proposto, serão estimados os valores dos próximos seis meses seguintes.

Para fins de avaliação do modelo, iremos utilizar os dados até seis meses antes do último mês de captura como massa de treino. Utilizaremos os seis meses como dados de teste, que foram removidos para treino do modelo, onde serão comparados os resultados obtidos e os

dados reais. O modelo a ser utilizado no estudo é o *Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average Exogenous Factors*, SARIMAX. Na qual há opção de incluir a sazonalidade na análise, bem como variáveis correlatas para encontrar uma melhor previsão.

### **3.2 – Proposta 2**

Como na proposta um, realizaremos a limpeza e tratamento dos dados de acidentes fornecidos pela ANTT.

A aplicação do modelo na segunda proposta é a utilização de modelos de suavização exponencial – Holt-Winters. Como resultado proposto, também realizaremos as estimativas dos valores para os próximos seis meses.

Para dados de treino, utilizaremos a massa de dados histórica até seis meses antes da última captura. Como dados de testes, utilizaremos os dados que foram ignorados do modelo de teste – desta maneira, podemos realizar uma comparação dos valores estimados e dos valores reais a fim de obter as métricas de avaliação do modelo.

# Capítulo 4

## Resultados Obtidos ou Esperados

### 4.1 – Resultado 1

A metodologia Box-Jenkins (1970) toma por base o Teorema de Wald e consiste em ajustar modelos autorregressivos integrados de médias móveis a um conjunto de dados. A modelagem é baseada em um ciclo iterativo, em que a escolha da estrutura do modelo é endógena, ou seja, a partir dos dados (MORETTIN; TOLOI, 2006, p. 105).

As etapas desta metodologia envolvem identificar, estimar e verificar. Na primeira etapa de identificação são identificadas características importantes da série histórica como: entender se há uma sazonalidade, encontrar o período desta sazonalidade e transformar a série em estacionária, caso seja determinado que a série não é uma série estacionária, ou seja a sua média e auto covariância são constantes no tempo e não apresentam tendências aparentes (FERREIRA, 2020 p. 95) e são aplicados as análises para identificar o modelo utilizando a função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP). Na etapa de estimação, os parâmetros do identificados na etapa anterior são utilizados na estimativa dos valores. Na fase de verificação os resultados obtidos são avaliados e comparados com os valores reais da série histórica a fim de compreender a eficácia do modelo. Na metodologia é um fluxo contínuo de melhoria, onde após identificado que o modelo não apresenta um bom resultado, esse fluxo é imediatamente reiniciado.

No modelo SARIMAX aplicado, vamos utilizar uma variável de apoio para auxiliar o algoritmo a identificar de maneira mais aproximada o valor estimado ao valor real. Como os dados se referem a acidentes em estradas concedidas a iniciativa privada, um outro dado disponível que será utilizado é o volume de veículos nas praças de pedágio, é possível verificar a semelhança entre os dois dados se compararmos visualmente. Apresentamos na figura 4.1 este volume mensal nos últimos anos.

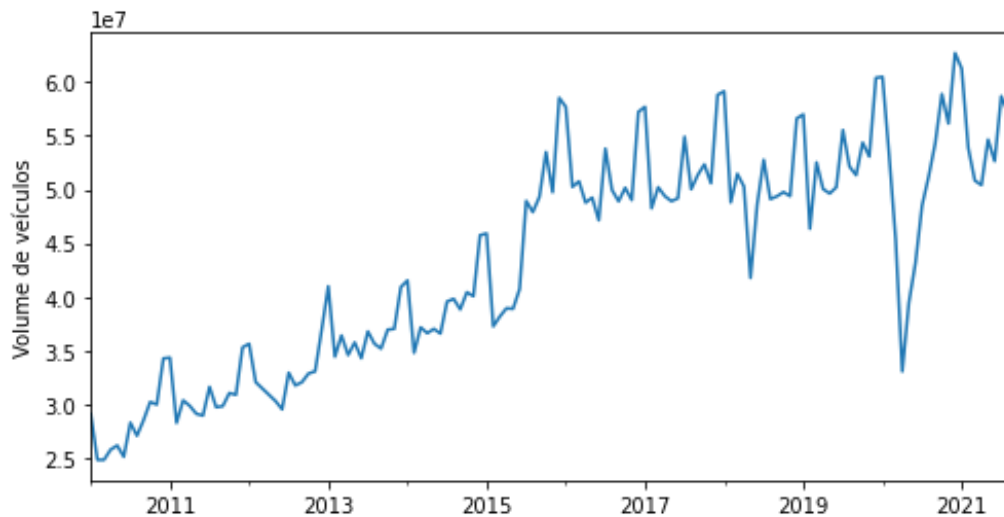


Figura 4.1 – Volume de veículos em praça de pedágio.  
Fonte: Autor

Realizando um cálculo simples de correlação Person entre as duas variáveis (acidentes e pedágios), encontramos um valor de 0.615. O que apresenta boa uma correlação positiva, como podemos apresentar na figura 4.2.

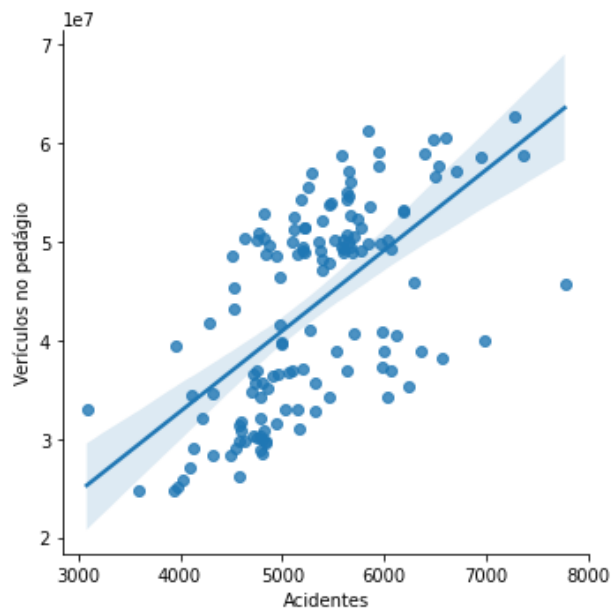


Figura 4.2 – Relação de acidentes e veículos em praça de pedágio.  
Fonte: Autor

As principais características de uma série temporal são a tendência e a variação sazonal que podem ser modeladas deterministicamente com funções matemáticas de tempo (COWPERTWAIT, 2009, p. 2). A imagem da figura 4.3 apresenta a decomposição de nossa

série temporal alvo em: a série em si, sua tendência, sazonalidade e os resíduos. Analisando tal gráfico são destacados alguns pontos importantes:

- 1) A série apresenta uma sazonalidade fixa de 12 meses, com picos de acidentes no final e início de cada ano.
- 2) Ao longo dos meses de 2020, é observado uma variância nos resíduos. A resposta mais plausível é a diferença de padrão observado aos longos dos últimos 10 anos em comparação com os períodos de COVID19, onde o fluxo de veículos foi totalmente atípico.

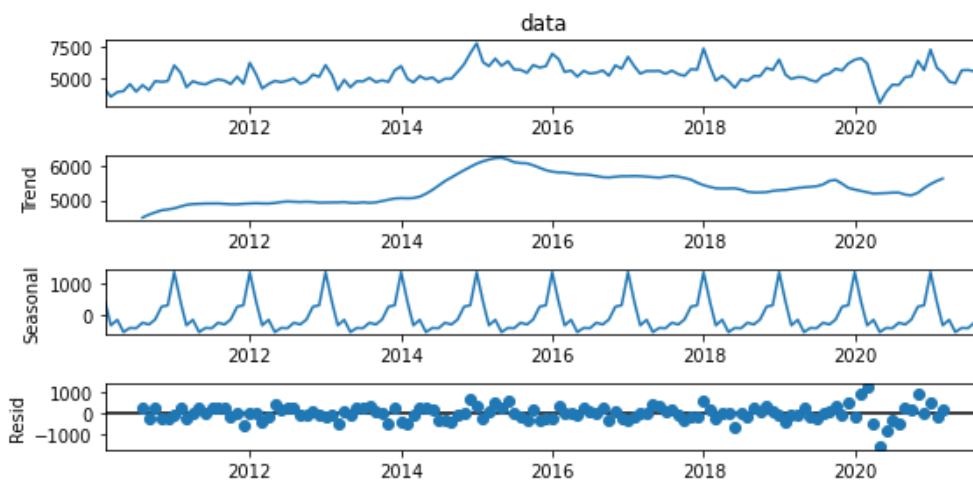


Figura 4.3 – Decomposição da série temporal de acidentes.  
Fonte: Autor

Dando sequência a análise da série temporal, em detrimento a buscar os valores de períodos da sazonalidade uma função de autocorrelação é executada e os resultados obtidos apresentados de maneira gráfica, conforme apresentado na figura 4.4.

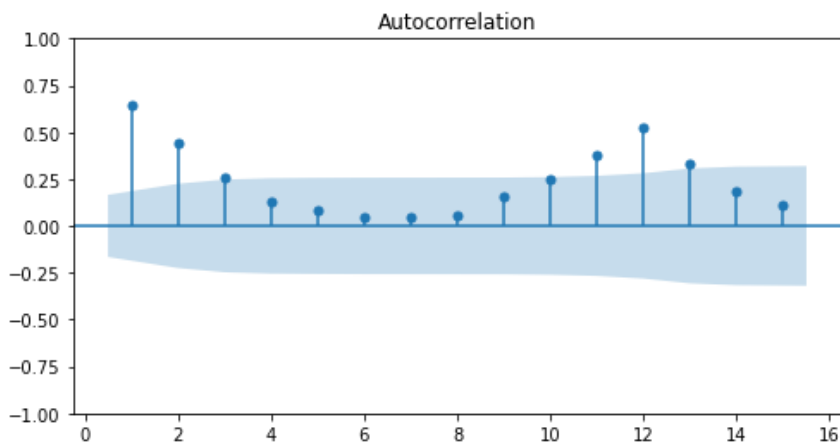


Figura 4.4 – Gráfico da FAC de acidentes de trânsito.  
Fonte: Autor



A partir do gráfico presumimos que a cada 12 meses há um valor de autocorrelação positivo. Para garantir essa afirmação e auxiliar na determinação do período sazonal, é removida a tendência da série temporal e executada novamente a função de autocorrelação (ilustrada na figura 4.5) que confirma o período de 12 meses como o período sazonal da série.

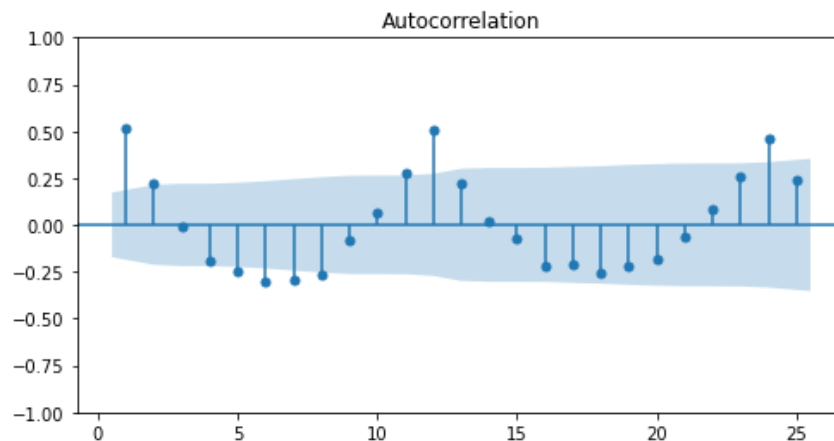


Figura 4.5 – Gráfico da FAC de acidentes de trânsito com remoção da tendência.  
Fonte: Autor

Segundo Ferreira (2020 p. 95) “O Dick-Fuller aumentado é provavelmente o teste de hipóteses para raízes unitárias mais utilizado.”. Utilizando o teste determinamos se a hipótese de a série não ser estacionária é rejeitada ou não. Sem realizar nenhum tratamento o teste encontra o valor de 0.462 – o que aceita a hipótese de a série ser não estacionária. É aplicado a diferenciação dos valores com valores anteriores e sazonais. Assim obtemos o de 0.000003331, o que rejeita a hipótese de série não estacionária. Segundo Ferreira (2020, p. 95) uma ferramenta que auxilia na etapa visual é o gráfico da FAC da série. Um processo não estacionário apresenta um lento decaimento de sua função de autocorrelação. Após o tratamento da série com a diferenciação, é observado um comportamento totalmente diferente visualmente analisando a figura 4.6.

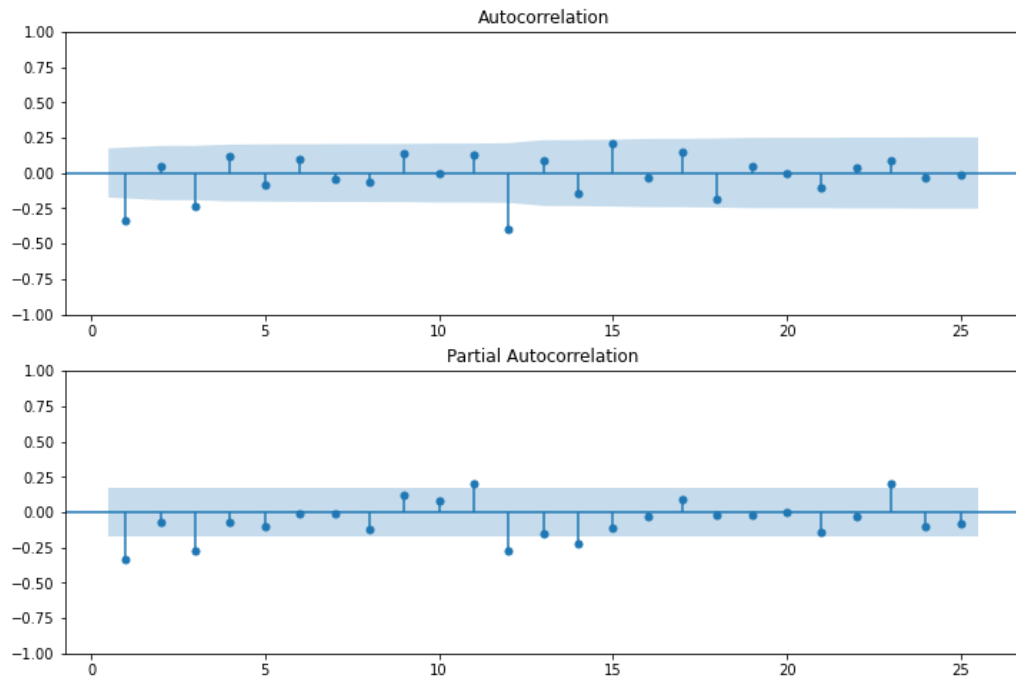


Figura 4.6 – Gráfico da FAC e FACP de acidentes de trânsito com diferenciação.  
 Fonte: Autor

A próxima etapa do modelo Box-Jenkins é estimar. Para isso se faz necessário obter os parâmetros de ordem do modelo SARIMAX, que conta com os valores (p,d,q) e (P,D,Q,M). De cara, podemos associar o valor 1 as variáveis d (normal) e D (sazonalidade), pois representam a diferenciação para que foi utilizada anteriormente, e 12 para variável M, pois representa os períodos sazonais. A estimativa das demais ordens podem ser realizadas com duas alternativas: analisando o gráfico final FAC e FACP e determinando os pontos de relevância no gráfico, ou o algoritmo de Hyndman-Khandakar (2008) onde são combinados os testes de valores das ordens com a minimização de seus resultados AIC (*Akaike's Information Criterion*). Basicamente o chamado Auto ARIMA utiliza critérios para selecionar os valores das ordens e verificar o resultado do AIC, procurando encontrar a ordem com o menor valor de resultado. É um comportamento padrão em alguns softwares de desenvolvimento do modelo (como no R). Na tabela 4.1 é possível ver os passos executados e os valores de AIC encontrados, selecionando assim o melhor modelo ARIMA(1,1,0) (0,1,1)12.

Tabela 4.1 – Ordens SARIMAX e métricas de AIC.

<b>Ordem</b>	<b>AIC</b>
(0,1,0)(0,1,0)[12]	2.450.472
(1,1,0)(1,1,0)[12]	1.914.997
(0,1,1)(0,1,1)[12]	1.904.627
(0,1,1)(0,1,0)[12]	1.938.060
(0,1,1)(1,1,1)[12]	1.911.272
(0,1,1)(0,1,2)[12]	1.918.688
(0,1,1)(1,1,0)[12]	1.915.885
(0,1,1)(1,1,2)[12]	1.914.011
(0,1,0)(0,1,1)[12]	1.920.567
(1,1,1)(0,1,1)[12]	1.905.329
(0,1,2)(0,1,1)[12]	1.907.483
(1,1,0)(0,1,1)[12]	1.902.711
(1,1,0)(0,1,0)[12]	1.935.354
(1,1,0)(1,1,1)[12]	1.910.513
(1,1,0)(0,1,2)[12]	1.915.039
(1,1,0)(1,1,2)[12]	1.911.146
(2,1,0)(0,1,1)[12]	1.905.138
(2,1,1)(0,1,1)[12]	1.925.615
(1,1,0)(0,1,1)[12]	1.904.639

Fonte: Autor

Com os valores de ordem já definidos, o modelo é instanciado com a variável exógena do número de veículos nas praças de pedágio. A média do erro absoluto para o modelo é de 344.3. Uma vez o modelo instanciado e treinado, avaliamos sua utilização com base em uma previsão dos últimos 12 meses e comparação com os valores reais. A imagem 4.7 apresenta a linha na cor laranja como a média da previsão, e o sombreado em vermelho o intervalo de confiança. Visivelmente é possível identificar que o modelo se ajustou bem aos dados reais e pode se aproximar dos valores reais. Para os valores estimados dos últimos 12 meses, o

percentual da média de erro absoluto foi de apenas 5%, um valor muito satisfatório para o teste em questão.

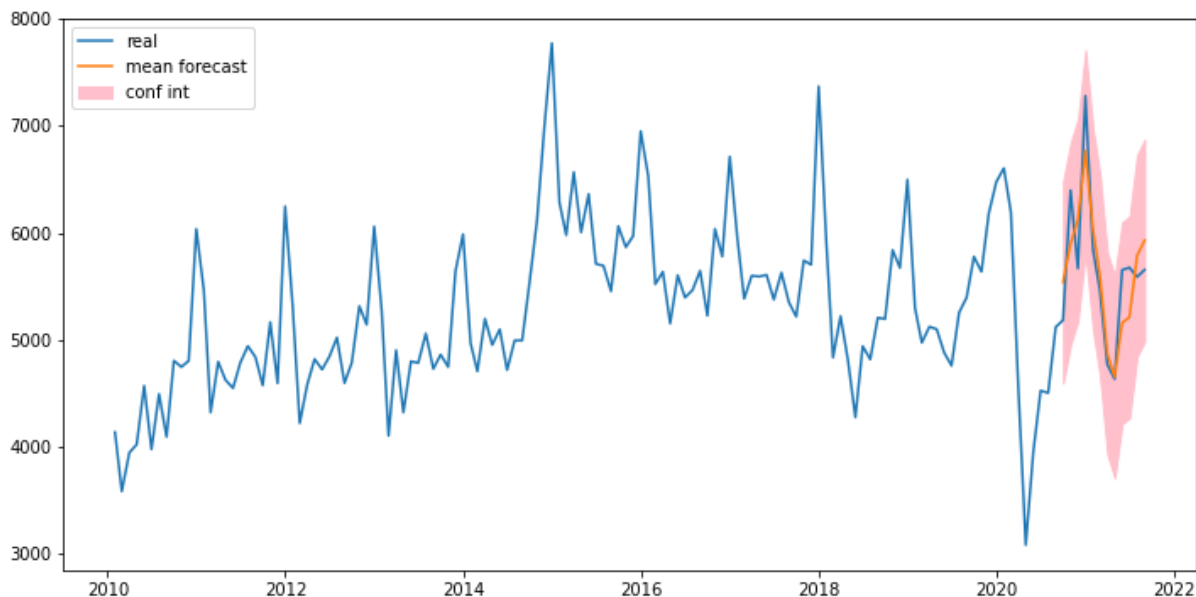


Figura 4.7 – Previsão dos últimos 12 meses segundo o modelo.  
Fonte: Autor

Segundo Ferreira (2020 p. 138) “Após definir a melhor estrutura e estimar os parâmetros do modelo, outra etapa fundamental é a fase de diagnóstico do modelo. Nesta fase as seguintes características dos resíduos precisam ser analisadas e confirmadas.”, “Ausência de autocorrelação linear, ausência de heterocedasticidade condicional e normalidade.”. Para determinar a ausência de autocorrelação linear, o gráfico FAC dos resíduos não devem apresentar correlações e valores significativos, conforme é evidenciado na figura 4.8. Para o teste de heterocedasticidade obtemos o valor de 1.29 que rejeita a hipótese de não heterocedasticidade. Para a normalidade os valores dos testes Jarque-Bera e Ljung-Box foram 1.00 e 35.25 respectivamente, o que não rejeita a hipótese também normalidade dos resíduos.

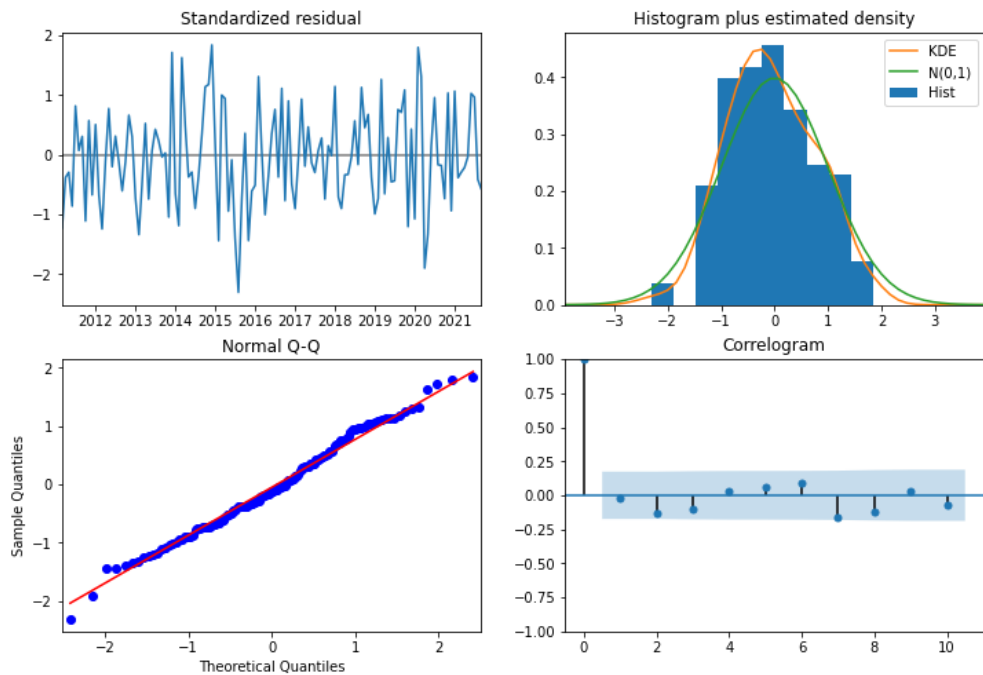


Figura 4.8 – Análise dos resíduos do modelo SARIMAX empregado.  
 Fonte: Autor

Com o modelo treinado, estimado os próximos 12 meses baseado os valores da variável exógena com os mesmos valores de 12 meses passados e aplicado um reajuste de 5% de crescimento. Na imagem 4.9 é possível verificar esta estimativa, e média dos valores estimados na tabela 4.2.

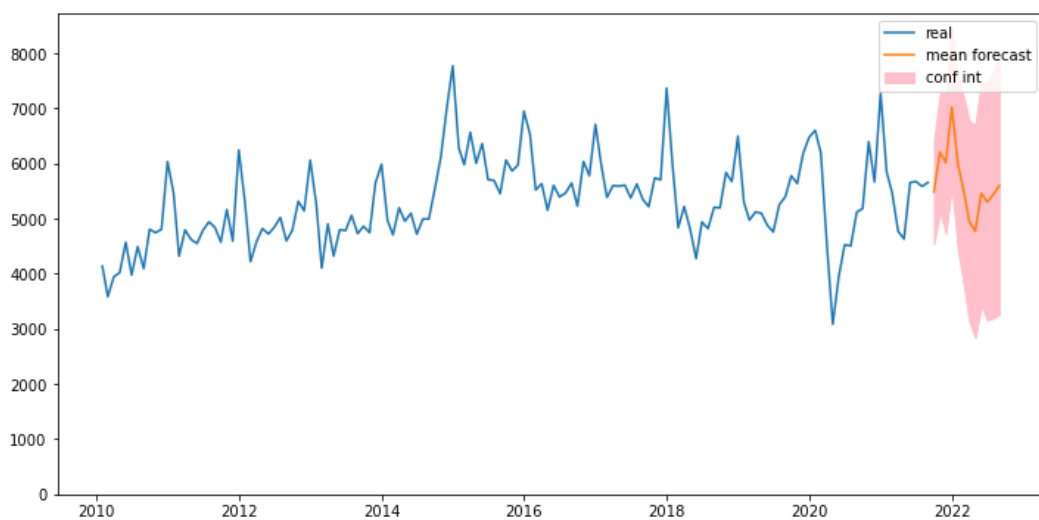


Figura 4.9 – Previsão para os próximos 12 meses do modelo SARIMAX empregado.  
 Fonte: Autor

Tabela 4.2 – Valores de previsão dos acidentes para os próximos 12 meses com SARIMAX empregado.

Meses	Quantidade de acidentes
30/09/2021	5.485
31/10/2021	6.205
30/11/2021	4.453
31/12/2021	4.456
31/01/2022	4.459
28/02/2022	4.462
31/03/2022	4.465
30/04/2022	4.468
31/05/2022	4.471
30/06/2022	4.474
31/07/2022	4.477
31/08/2022	4.480

Fonte: Autor

## 4.2 – Resultado 2

Segundo Hyndman (2018) as previsões no modelo de suavidade exponencial são calculadas utilizando as médias ponderadas, onde os pesos descessem exponencialmente conforme as observações vão passando ao longo do tempo – os menores pesos são associados as observações mais antigas. Holt (1957) estendeu o uso da equação simples de suavidade exponencial permitindo a previsão de valores tomando como base também a tendência da série. Holt (1957) e Winters (1960) acresceu a equação de Holt, incluindo não somente a tendência da série, bem como a captura da sazonalidade para o cálculo de previsões. Segundo Hyndman (2018), existem duas variações para este método que diferem da natureza do componente de sazonalidade.<sup>1</sup> O modelo aditivo é preferência quando as variações sazonais são constantes na série, e o modelo multiplicativo quando as variações sazonais mudam proporcionalmente ao crescimento da série. O modelo aditivo será utilizado para as previsões dos acidentes.

<sup>1</sup> Texto como referência citado e extraído do capítulo 7 – *Exponential Smoothing* do website do livro *Forecasting: Principles and Practice*, Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018). Disponível em: <https://otexts.com/fpp2/expsmooth.html>. Acessado em: 18 Out, 2021.

Para critérios de avaliação dos modelos, foram aplicados dois modelos: simples, onde o cálculo não contempla a tendência e a sazonalidade da série, e um segundo com a adição da tendência e a sazonalidade a fim de melhorar as previsões. Conforme apresentado na tabela 4.3 o melhor modelo com menor AIC é onde incluímos os parâmetros de sazonalidade e tendência da série.

Tabela 4.3 – Resultado dos modelos Holt-Winters com métricas AIC e BIC.

<b>Modelo</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
Simple	2.202	2.210
Completo	2.166	2.222

Fonte: Autor

Em ambos os testes de Ljung-Box e Jarque-Bera para testar a hipótese de normalidade dos resíduos obtiveram valores que validam a hipótese de 0.73 e 0.63 respectivamente para o modelo simples e 0.70 e 0.62 para o modelo completo (com parâmetros de sazonalidade e tendência). A média de erro absoluto foi de 634.6 e o percentual de 10% para o modelo simples e 365.67 e percentual de 6% para o modelo completo.

Em termos de comparativo visuais dos resultados, a figura 4.10 apresenta o gráfico das estimativas dos últimos 12 meses para fim de comparativo com os dados reais do modelo simples.

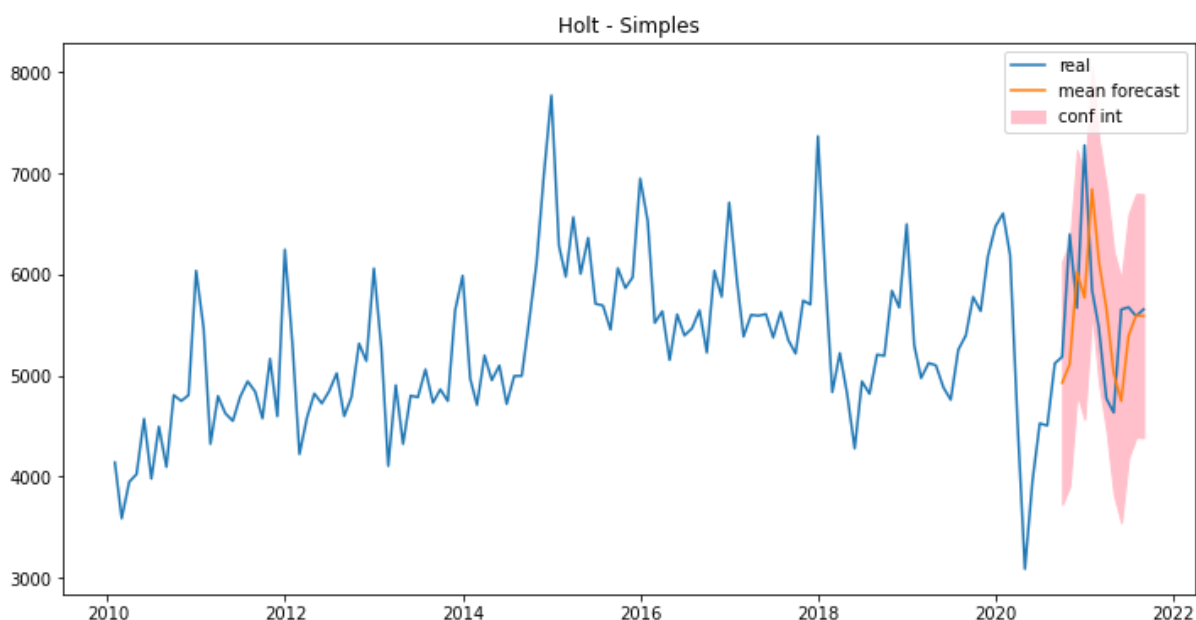


Figura 4.10 – Previsão dos últimos 12 meses do modelo Holt-Winters simples empregado.

Fonte: Autor

A figura 4.11 apresenta o mesmo gráfico para o modelo completo.

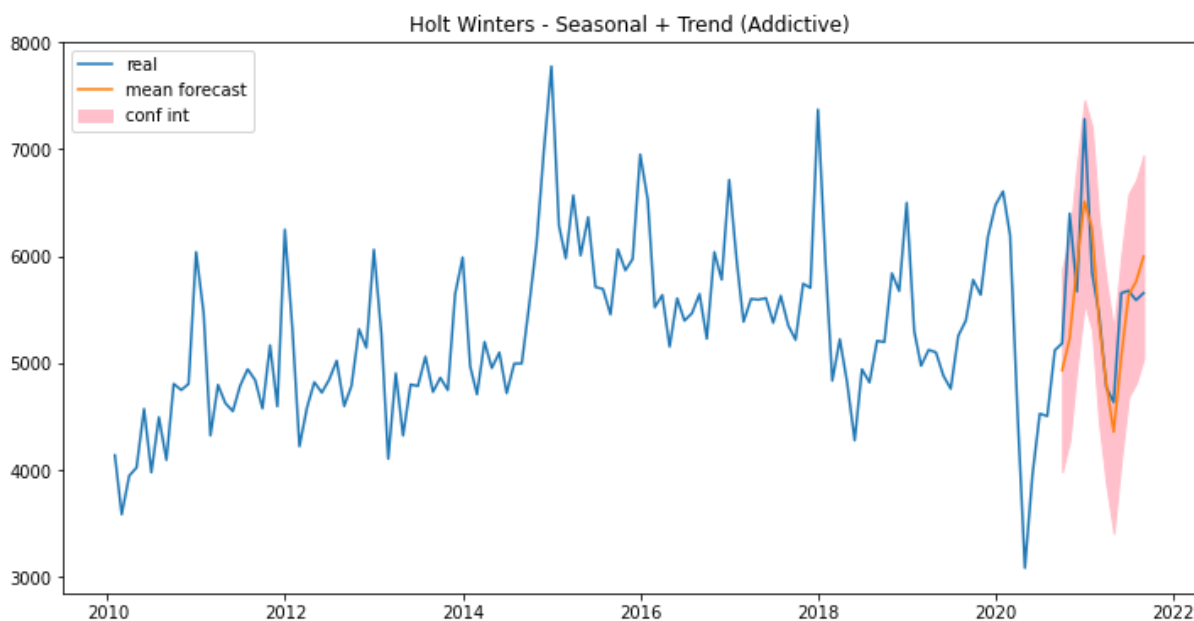


Figura 4.11 – Previsão dos últimos 12 meses do modelo Holt-Winters completo empregado.  
Fonte: Autor

Para fim de previsões dos próximos 12 meses, o modelo completo foi utilizado devido suas melhores métricas. A figura 4.12 apresenta o gráfico da previsão.

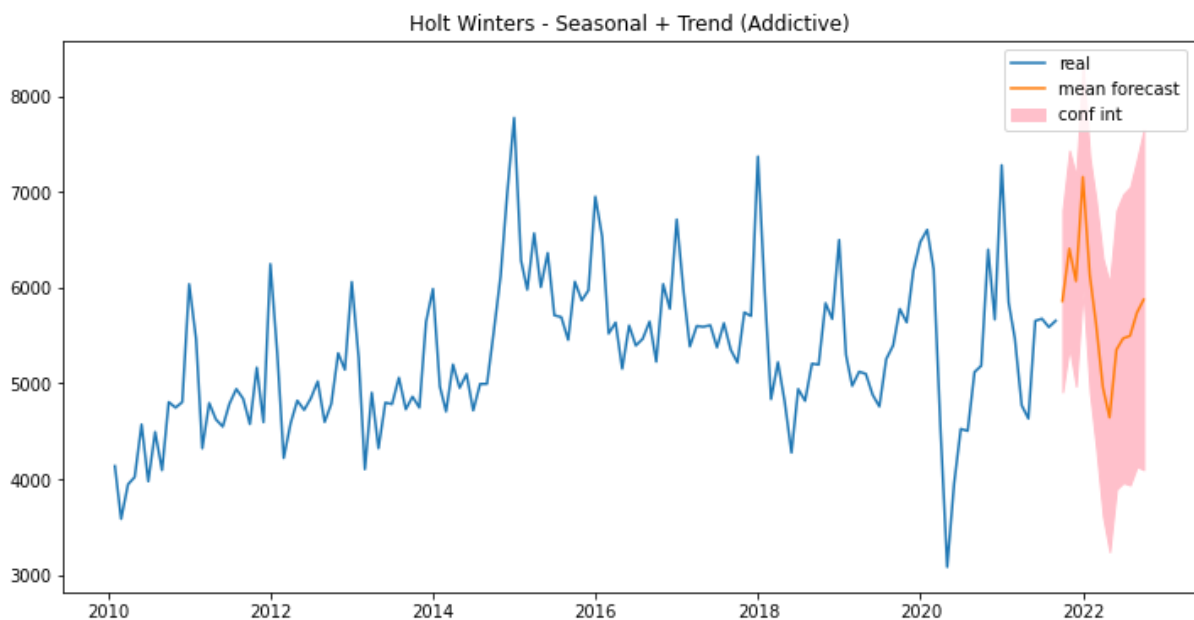


Figura 4.12 – Previsão dos próximos 12 meses do modelo Holt-Winters completo empregado.  
Fonte: Autor



Na tabela 4.4 apresenta os valores previstos para os próximos 12 meses.

Tabela 4.4 – Previsão de acidentes dos próximos 12 meses com o modelo Holt-Winters.

Meses	Quantidade de acidentes
30/09/2021	5859
31/10/2021	6406
30/11/2021	6067
31/12/2021	7154
31/01/2022	6130
28/02/2022	5626
31/03/2022	4958
30/04/2022	4644
31/05/2022	5352
30/06/2022	5469
31/07/2022	5496
31/08/2022	5737

Fonte: Autor

### 4.3 – Análise de resultados

Como analisado nos tópicos anteriores, foram apresentados dois modelos para estimar os valores do número de acidentes em rodovias concedidas a iniciativa privada. Para fins de comparação é levado em consideração o mesmo critério que foi utilizado para determinar os melhores parâmetros para cada modelo, o AIC. Da mesma forma é importante levar em consideração os resíduos dos testes de estimativa dos últimos 12 meses de dados. Com isso é possível identificar quais modelos mais se aproximam dos dados reais utilizando o cálculo de média de erro absoluto e o percentual da média de erro absoluto. Levando em consideração ambos os critérios são possíveis determinar que o melhor modelo para estimar o número que se aproxima dos valores reais e possui o valor de AIC minimizado é o SARIMAX com as ordens (1,1,0)(0,1,1) 12.

# Capítulo 5

## Conclusão e Trabalhos Futuros

### 5.1 – Conclusão

O cenário de acidentes em rodovias concedidas a iniciativa privada atual e histórico representam muito mais do que um número totalizado nas estatísticas publicadas pelas entidades competentes e sim vidas e famílias impactadas pela perda de um ente querido que provocam marcas e sequelas em todos envolvidos. Além dos efeitos psicossociais de tais acidentes, há todo um ecossistema econômico de empresas e colaboradores envolvidos desde o socorro até o administrativo de companhias de seguro e terceirizadas que participam e são impactadas operacionalmente por tais eventos. Neste sentido, a previsibilidade da ocorrência e o volume dos acidentes de trânsito em tais rodovias pode se tornar um fato diferencial para essa cadeia de envolvidos, onde podem utilizar tais previsões para melhorar sua operação, diminuindo os custos e melhorando o tempo de resposta para atendimento de tais eventos – o que inclusive pode salvar vidas na perspectiva da etapa de socorro.

Um aspecto fundamental que possui uma correlação positiva com o número de acidentes é o aumento da frota de veículos nacional que tem crescido de maneira quase que exponencial na última década. Tal crescimento requer uma melhoria na infraestrutura de nossas rodovias, onde a política de concessões permite a iniciativa privada assumir grande parte da responsabilidade por manter e operar tais rodovias em troca de explorar os pedágios. Neste trabalho concentramos os esforços a determinar as previsões nestas concessões apenas.

Para o desenvolvimento de tais previsões, foram utilizados dois modelos bases de estimativa largamente validados e utilizados por grandes corporações e entidades a fim de prever valores tomando como base o histórico dos dados e séries temporais. Uma vez que os modelos foram otimizados, os resultados foram obtidos e através de critérios e métricas de desempenho foi determinado que o melhor modelo para tais previsões é o SARIMAX (em comparação ao modelo Holt Winters). Modelo pronto, tais estudos podem ser efetuados a fim de trazer todos os benefícios já mencionados. Em produção é importante a retroalimentação do modelo periodicamente com os valores recentes a fim de ajustar os resultados e obter as melhores previsões.

## **5.2 – Trabalhos Futuros**

Durante o desenvolvimento, ficou evidente o impacto da pandemia no fluxo de veículos e conseqüentemente um decréscimo neste período do número de acidentes. É fundamental que este comportamento seja monitorado e os dados atuais possam alimentar o modelo com o objetivo de diminuir os efeitos na série e a melhor estimativa seja determinada. Neste mesmo sentido, um objeto de estudos futuros é entender esse “ruído” produzido pela pandemia nos indicadores de maneira geral e como afetou os modelos de aprendizado de máquinas que tomam como base alguma informação que foi influenciada por este evento de escala global e entender se tais modelos foram afetados por esta distorção e como diminuir tais efeitos em novos possíveis catástrofes.

# Referências Bibliográficas

BRASIL. **Decreto nº 94.002**, de 04 de fevereiro de 1987. Função da lei. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, Página 1845, 05 Fev. 1987

BRASIL. **Lei nº 8.987**, de 13 de fevereiro de 1995. Função da lei. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, Página 1917, 14 Fev. 1995

CARVALHO, Carlos H. Ribeiro. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras**, Instituto de Pesquisas Aplicadas, 2015.

COWPERTWAIT, Paul S.P.; METCALFE, Andrew V. **Introductory Time Series With R**. Nova Iorque: Springer, 2009.

FERREIRA, Pedro; BARROS, Ana Carolina, et al. **Análise de Séries Temporais em R: Curso Introdotório**. São Paulo: Grupo Editorial Nacional, FGV IBRE, 2020.

HYNDMAN, R.J.; ATHANASOPOULOS, G. (2018). **Forecasting: principles and practices**, 2nd. Capítulo 1, Seção 1.2. Disponível em: <https://otexts.com/fpp2/planning.html>. Acessado em: 18 Out, 2021.

HYNDMAN, R.J.; ATHANASOPOULOS, G. (2018). **Forecasting: principles and practices**, 2nd. Capítulo 7. Disponível em: <https://otexts.com/fpp2/expsmooth.html>. Acessado em: 18 Out, 2021.

HYNDMAN, R.J.; ATHANASOPOULOS, G. (2018). **Forecasting: principles and practices**, 2nd. Capítulo 8. Disponível em: <https://otexts.com/fpp2/arma.html>. Acessado em: 18 Out, 2021.

KUMARI, Kajal; BHARDWAJ, Mahima; SHARMA, Swati. **OSEMN Approach for Real Time Data Analysis**. *Social Science Research Network*, 2020.

MORETTIN, Pedro; TOLOI, Clélia M. C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Blucher, 2006.

Portal **ABCR** - **Informações sobre o setor**, 2021. Disponível em: <https://abcr.org.br/setor/concessionarias/sobre-a-concessao>, Acessado em: 18 Out, 2021.

Portal **ABCR** - **Relação de empresas**, 2021. Disponível em: <https://abcr.org.br/setor/concessionarias/relacao-de-empresas>, Acessado em: 18 Out, 2021.

Portal ANTT (Ministério da Infraestrutura) - **Estatísticas - Frota de Veículos - SENATRAN**, Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>, Acessado em: 18 Out, 2021.

Portal ANTT (Ministério da Infraestrutura) - **Informações sobre responsabilidade de cada entidade**. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/web/guest/perguntas-frequentes>, Acessado em: 18 Out, 2021

Portal ANTT (Ministério da Infraestrutura) – **Acidentes, conjunto de dados**. Disponível em: <https://dados.antt.gov.br/dataset/acidentes-rodovias>, Acessado em: 10 Jan, 2021