

**CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA**

Análises dos Eventos Detectados em Portos Brasileiros

Lucas de Assumpção Flores

Prof. Orientador:

Eduardo Soares Ogasawara, D.Sc.

Prof. Coorientador:

Maria Izabel Barreto

**Rio de Janeiro,
Agosto de 2022**

**CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA**

Análises dos Eventos Detectados em Portos Brasileiros

Lucas de Assumpção Flores

Projeto final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação
Superior do Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca,
CEFET/RJ, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Ciência da
Computação.

Prof. Orientador:

Eduardo Soares Ogasawara, D.Sc.

Prof. Coorientador:

Maria Izabel Barreto

**Rio de Janeiro,
Agosto de 2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

F634 Flores, Lucas de Assumpção

Análises dos eventos detectados em portos brasileiros / Lucas de Assumpção Flores – 2022.

ix, 42f + apêndice il. color ; enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.

Bibliografia: f. 38-42.

Orientador: Eduardo Soares Ogasawara

Co-orientador: Maria Izabel Barreto

I. Ciência da computação. 2. Transportes aquaviários. 3. Séries temporais. 4. Detecção de eventos. 5. Tempo de atracação. I. Ogasawara, Eduardo Soares (Orient.). II. Barreto, Maria Izabel (Co-orient.). III. Título.

CDD 004

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes CRB-7/5281

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao professor orientador Eduardo Ogasawara e a coorientadora Maria Izabel Barreto e ao corpo orgânico do CEFET/RJ, que permitiu tudo isso ser possível.

RESUMO

O transporte marítimo é essencial para o mundo globalizado, pois este é responsável por movimentar cerca de 70% de todas as mercadorias comercializadas mundialmente. No Brasil, esta modalidade de transporte vem crescendo ao longo dos últimos anos, onde em 2021 alcançou um crescimento de 7,65% no terceiro trimestre em comparação ao mesmo período de 2020. No entanto, os congestionamentos marítimos nos portos brasileiros afetam negativamente as logísticas de importação e exportação das mercadorias. Registrar a movimentação dos portos em termos de número de atracções e atrasos nas atracções por meio de séries temporais viabiliza acompanhar o funcionamento dos portos. No caso do Brasil, tais séries podem ser obtidas a partir dos dados públicos da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Este trabalho utiliza os métodos detecção de eventos nas séries temporais dos principais portos brasileiros. Os métodos utilizados foram o *Forward and Backward Anomaly Detector* (FBIAD) e *ChangeFinder* (CF) que detectam, respectivamente, anomalias de tendência e pontos de mudança em séries temporais. O objetivo visou avaliar a revocação dos métodos e os principais fatores relacionados ao aumento ou a diminuição dos congestionamentos. Os resultados medidos nos portos de Santos, Tubarão e Paranaguá, indicam que a abordagem é promissora ao ter uma revocação média de 49% ao detectar os momentos nos quais estes portos tiveram maiores mudanças de comportamento.

Palavras-chaves: transportes aquaviários; séries temporais; detecção de eventos; tempo de atracção

ABSTRACT

Maritime transport is essential for the globalized world, as it is responsible for moving about 70% of all goods traded worldwide. In Brazil, this mode of transport has been growing over the last few years. In 2021 it reached a growth of 7.65% in the third quarter compared to the same period in 2020. However, maritime congestion in Brazilian seaports negatively affects the logistics of import and export of goods. Recording the movement of seaports in terms of the number of berths and delays in berthing through time series makes it possible to monitor the operation of ports. In Brazil's case such series can be obtained from public data by the Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). This work uses event detection methods in the time series of the main Brazilian seaports. The methods used were the Forward and Backward Anomaly Detector (FBIAD) and ChangeFinder (CF) that detect, respectively, trend anomalies and change points in time series. The objective was to evaluate the recall of the methods and the main factors related to the increase or decrease in congestion. The results measured in the seaports of Santos, Tubarão and Paranaguá, indicate that the approach is promising, having an average recall of 49% when detecting the moments in which these seaports had the greatest operating changes.

Keywords: sea transport; time series; event detection; berth time

Sumário

1	Introdução	1
2	Fundamentação Teórica	4
2.1	Transporte Marítimo	4
2.2	Séries Temporais	5
2.3	Detecção de Eventos	6
2.3.1	Anomalias	6
2.4	Framework Harbinger	9
3	Trabalhos Relacionados	11
4	Metodologia	13
4.1	ETL	13
4.2	Aplicação Framework Harbinger	16
4.3	Análise dos Eventos Detectados	17
5	Resultados	19
5.1	Datasets	19
5.2	Análise Exploratória	20
5.2.1	Terminal de Tubarão	21
5.2.2	Porto de Paranaguá	22
5.2.3	Porto de Santos	24
5.3	Análise Quantitativa	25
5.4	Análise Qualitativa	27
5.4.1	Terminal de Tubarão	28
5.4.2	Porto de Paranaguá	31
5.4.3	Porto de Santos	33
6	Conclusão	36

Lista de Figuras

FIGURA 1:	Gráfico <i>boxplot</i> adaptado de Han et al. [2012].	7
FIGURA 2:	Série temporal sintética com as detecções obtidas pelo método FBIAD.	8
FIGURA 3:	Série temporal sintética com as detecções obtidas pelo método CF.	10
FIGURA 4:	Modelo lógico simplificado do <i>dataset</i> desenvolvido.	16
FIGURA 5:	<i>Ranking</i> dos portos com maior acúmulo de atrasos nas atracações.	20
FIGURA 6:	<i>Ranking</i> dos portos com maior número de atracações efetuadas.	21
FIGURA 7:	Série temporal AAHA do Terminal de Tubarão.	22
FIGURA 8:	Série temporal NAE do Terminal de Tubarão.	23
FIGURA 9:	Série temporal AAHA do Porto de Paranaguá.	23
FIGURA 10:	Série temporal NAE do Porto de Paranaguá.	24
FIGURA 11:	Série temporal AAHA do Porto de Santos.	25
FIGURA 12:	Série temporal NAE do Porto de Santos.	25
FIGURA 13:	Eventos detectados na série temporal AAHA do Terminal de Tubarão.	29
FIGURA 14:	Eventos detectados na série temporal NAE do Terminal de Tubarão.	30
FIGURA 15:	Eventos detectados na série temporal AAHA do porto de Paranaguá.	31
FIGURA 16:	Eventos detectados na série temporal NAE do porto de Paranaguá.	32
FIGURA 17:	Eventos detectados na série temporal AAHA do porto de Santos.	33
FIGURA 18:	Eventos detectados na série temporal NAE do porto de Santos.	34

Lista de Tabelas

TABELA 1:	Dicionário dos dados.	14
TABELA 2:	Tabela Atracacao simplificada.	15
TABELA 3:	Tabela TemposAtracacao simplificada.	15
TABELA 4:	Transformação das nomenclaturas.	16
TABELA 5:	<i>Dataset</i> simplificado do número de atracções efetuadas semanalmente.	19
TABELA 6:	<i>Dataset</i> simplificado do atraso em horas das atracções semanal.	20
TABELA 7:	Eventos detectados nas séries temporais NAE e AAHA.	26
TABELA 8:	Detecções válidas na série temporal AAHA.	27
TABELA 9:	Avaliações das detecções na série temporal NAE.	27
TABELA 10:	Avaliações das detecções na série temporal AAHA.	27
TABELA 11:	Tempo decorrido das detecções.	28
TABELA 12:	Notícias do Terminal de Tubarão.	43
TABELA 13:	Notícias do Porto de Paranaguá.	44
TABELA 14:	Notícias do Porto de Santos.	45

LISTA DE ABREVIACÕES

AAHA	Acúmulo De Atrasos Em Horas Nas Atracações	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 35, 36
ANTAQ	Agência Nacional De Transportes Aquaviários	1, 2, 5, 13, 15, 17, 19, 36
CF	<i>ChangeFinder</i>	9, 16, 17, 25, 26, 27
CSV	<i>Comma Separated Value</i>	13
ETL	<i>Extract, Transform and Load</i>	13, 16, 19
FBIAD	<i>Forward and Backward Inertial Anomaly Detector</i>	8, 16, 17, 25, 26
NAE	Número De Atracações Efetuadas	17, 22, 24, 25, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36
SCP	<i>Seminal Change Point</i>	9

Capítulo 1

Introdução

Durante séculos a utilização de animais para a movimentação de cargas era predominante no transporte terrestre. Porém, conforme a evolução deste meio de transporte ao longo dos anos, obstáculos geográficos começaram a ser desafiadores, forçando a criação de novos modelos. Logo, visando atravessar rios, lagos e mares, que eram obstáculos desafiadores para a época, o homem desenvolveu as balsas, sendo estas um conjunto de troncos amarrados. Adiante, com o avanço da tecnologia, outras embarcações como canoas e navios foram criadas, porém eram movidos por tração eólica ou humanas. Portanto, com a criação destas embarcações o homem já era capaz de transportar mercadorias entre países e até mesmo continentes [Saraceni, 2012].

Com a revolução industrial, no século XVIII, a máquina a vapor se tornou o novo propulsor das embarcações, utilizando a queima do carvão como combustível. Já no século XX, a Era do Petróleo revolucionou o transporte marítimo, pois deu mais velocidade às embarcações com a utilização do óleo em vez do carvão. Atualmente, o modal marítimo tem a maior capacidade individual no transporte de mercadorias, sendo ainda mais econômico quando se trata de longas distâncias. Assim, visando a maneira mais econômica de transportar mercadorias em grande escala, o modal marítimo é o mais vantajoso e utilizado por diversos países [Saraceni, 2012].

A navegação marítima no Brasil teve uma grande representatividade nos últimos anos, onde chegou a atingir uma movimentação portuária de 311,1 milhões de toneladas no segundo trimestre de 2021, considerando portos públicos e privados. Esta conquista representa um crescimento de 7,65% em comparação ao mesmo período do ano de 2020, obtendo uma diferença de 22,1 milhões de toneladas. Visando os portos públicos, o crescimento chegou a 9,79%, diferentemente dos portos privados, que tiveram um aumento de 6,47% no mesmo período [ANTAQ, 2021a]. Mediante a grande faixa litorânea do território brasileiro e o alto número de portos, foi necessário a criação da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) pelo governo federal, com o objetivo de gerenciar os transportes marítimos e os portos presentes no território nacional.

No entanto, há uma grande preocupação relacionada aos congestionamentos em portos brasileiros, pois esses congestionamentos vêm trazendo consequências negativas à logística de im-

portação e exportação das mercadorias [Multimodal, 2021]. Em 2004, as empresas brasileiras de comércio exterior pagaram US\$ 1,2 bilhão em tarifas, devido a atrasos que ocorreram durante as operações de embarque e desembarque das mercadorias dos navios [News, 2005]. Assim, os atrasos ocorrem quando uma embarcação chega ao porto, porém não tem um local para se fixar ou atracar, conhecido como berço, para dar início às suas operações [ANTAQ, 2021b]. Neste sentido, é viável associar o tempo de atracação a possíveis congestionamentos, pois se houver um aumento no tempo das atracações em determinados portos, consequentemente, irão existir atrasos nestas atracações.

Logo, identificar mudanças no comportamento dos portos e seus principais fatores, pode ser interessante para que os órgãos competentes busquem melhorar a eficiência dos portos e assim, possam tomar medidas, visando mitigar os prejuízos relacionados aos congestionamentos. Com a redução dos prejuízos obtidos pelas tarifas portuárias, espera-se aumentar a competitividade de produtos brasileiros no mercado internacional.

Assim, para realizar as análises das variações nos congestionamentos, foram utilizados os conjuntos de dados disponibilizados pela ANTAQ. Os dados foram extraídos, tratados e carregados em um *dataset*, que foi utilizado como base para gerar os gráficos necessários. Visando identificar os principais portos a serem analisados, foi necessário realizar uma etapa de análise exploratória, onde são apresentados *rankings*, gerados com os dados do *dataset*, buscando uma melhor comparação entre os indicadores de todos os portos brasileiros. Em seguida, foi definido um método de escolha para selecionar os principais portos, que foram analisados. Após a seleção dos portos, as séries temporais de interesse foram geradas para realizar a aplicação dos métodos de detecção de eventos, implementados pelo *framework Harbinger*, buscando análises mais pontuais.

Dessa forma, este trabalho faz o uso dos métodos detecção de eventos, implementados pelo *framework Harbinger*, nas séries temporais dos principais portos brasileiros, buscando identificar pontos específicos a serem analisados. Para verificar a revocação das detecções dos métodos, foi necessário realizar uma etapa de pesquisa por notícias relevantes dos principais portos brasileiros, visando validar se uma determinada notícia está associada a algum evento detectado no mesmo período. Os resultados obtidos foram promissores, obtendo uma média de 49% de revocação na detecção dos eventos. Além disso, foram selecionados os principais fatores associados às variações dos congestionamentos nos portos de Tubarão, Paranaguá e Santos.

Além da introdução, este trabalho é composto por mais cinco capítulos. O Capítulo 2 apre-

senta os principais conceitos para a construção deste trabalho, que são: transporte marítimo no Brasil, séries temporais, detecção de eventos e *framework Harbinger*. O Capítulo 3 aborda os trabalhos relacionados e as diferenças entre as técnicas e abordagens. No Capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada para elaboração do trabalho. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e suas respectivas análises. Por fim, o Capítulo 6 resume os resultados alcançados e propõe trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo aborda a fundamentação teórica necessária para o entendimento da metodologia aplicada neste trabalho. A Seção 2.1, tem como objetivo apresentar as principais terminologias utilizadas no contexto marítimo. Adiante, a Seção 2.2, aborda as características e definições de uma série temporal. A Seção 2.3, expõe os diferentes métodos de detecção de eventos que foram utilizados na metodologia. Por fim, na Seção 2.4, apresenta o *Framework Harbinger* que foi utilizado para detectar e analisar eventos nas séries temporais dos dados aquaviários brasileiros.

2.1 Transporte Marítimo

O meio de transporte marítimo é um fator importante para o mundo globalizado, pois tem como principal função, realizar a movimentação de mercadorias que são comercializadas entre diversos países. Esta modalidade de transporte é responsável por aproximadamente 70% do valor total de mercadorias que são comercializadas mundialmente [Rodrigues et al., 2017]. Para lidar com os diferentes produtos a serem transportados, existem alguns tipos de navegações em portos nacionais, que são: navegação interior, navegação de longo curso, navegação de cabotagem e navegação de apoio.

A Navegação Interior é feita através das hidrovias que se localizam no interior dos territórios, sendo eles nacionais ou internacionais, assim, não é necessária a utilização de águas oceânicas. Este tipo de navegação tem como principal característica, realizar o transporte de graneis, ou seja, mercadorias homogêneas de baixo valor agregado e em grandes quantidades, como: minério, soja, milho, etc. [Teixeira et al., 2018].

A Navegação de Longo Curso é realizada entre países distintos, assim, sendo necessária a utilização de águas oceânicas para o seu deslocamento. Navegações deste tipo são responsáveis por atuar diretamente no comércio internacional, realizando o transporte de graneis e mercadorias com alto valor agregado. O transporte de granel é realizado por linhas irregulares, que normalmente são livres de regulamentação econômica, contrário dos demais, que são

transportados por linhas regulares, enfrentando as conferências de fretes [Lacerda, 2004b].

A Navegação de Cabotagem realiza o transporte aquaviário de cargas entre portos que estejam em um mesmo território. O Brasil tem uma grande vantagem neste tipo de navegação, pois possui uma grande extensão litorânea, contendo diversos portos com grande potencial de distribuição. Os combustíveis e minérios são os principais produtos transportados entre os portos nacionais [Lacerda, 2004a].

A Navegação de Apoio é dividida em dois tipos: navegação de apoio portuário e navegação de apoio marítimo. A navegação de apoio portuário, é realizada majoritariamente pelas embarcações rebocadoras, que atuam nos momentos de chegada e saída dos navios aos portos. O apoio marítimo também é feito por rebocadores, porém atuando em águas nacionais e na Zona Econômica, auxiliando na logística das embarcações e instalações marítimas [Mendes et al., 2017].

Além dos tipos de navegações, existe o conceito do tempo de espera da atracação, que está diretamente ligado ao congestionamento marítimo. A atracação é o movimento que a embarcação realiza para se fixar ao berço no porto e dar início a operação de embarque e desembarque das mercadorias. Logo, o tempo de espera da atracação é definido pela diferença entre a data e hora da atracação menos a data e hora da chegada da embarcação. Caso essa diferença seja maior do que zero, entende-se que houve um atraso na atracação. Assim, se existir um alto acúmulo de atrasos nas atracações, pode-se assumir que o porto está congestionado, pois terá uma escassez de berços para atracação.

Já o tempo de operação é calculado quando a embarcação dá início a sua operação de embarque e desembarque no porto, após a sua atracação. Logo, o tempo de operação é calculado pela diferença da data e hora final da operação menos a data e hora de início da operação. Toda essa estrutura aquaviária é de responsabilidade da ANTAQ, que foi criada pela Lei nº 10.233 de 2001 e está diretamente vinculada ao Ministério da Infraestrutura. A ANTAQ é responsável por fiscalizar, supervisionar e regular todos os serviços de transportes aquaviários do território brasileiro [ANTAQ, 2020b].

2.2 Séries Temporais

Uma série temporal, pode ser apresentada como um conjunto de observações de um determinado domínio ao longo do tempo. Estas séries temporais são utilizadas para gerar análises em diferentes áreas, como na economia, que verifica os preços das ações ao longo do tempo

e até mesmo na médica, onde um médico pode analisar o histórico da pressão arterial de um paciente [Shumway and Stoffer, 2017]. Neste trabalho, foram desenvolvidas diferentes séries temporais de atracções, que tenham ocorrido entre janeiro de 2010 a dezembro de 2021, em portos brasileiros.

A definição de uma série temporal s é dada por uma sequência de n observações aleatórias ao longo do tempo, representado por $\langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle$. Assim, s_1 representa o valor mais antigo assumido pela série temporal e s_n a mais recente. Uma observação da série temporal s pode ser definida como s_t , onde t especifica a variável tempo, que é representada por $t = 1, \dots, n$ [Carmona, 2013; Shumway and Stoffer, 2017].

Na Figura 11, pode-se observar a série temporal construída para o porto de Santos, onde o eixo das abscissas especifica a variável tempo e o eixo das ordenadas, o acúmulo de atraso das atracções em horas. Assim, com a construção das séries temporais para os diferentes portos brasileiros, é possível realizar as detecções e análises dos eventos.

2.3 Detecção de Eventos

Visando detectar eventos em séries temporais, é importante observar mudanças que ocorram de maneira repentina, pois estas normalmente representam eventos que são interessantes para as análises [Salles et al., 2020; Guralnik and Srivastava, 1999]. Esta mudança repentina em um ou mais pontos da série pode caracterizar pontos de anomalias em um primeiro momento, porém se identificar que a partir desse ponto a série temporal mudou de comportamento, então estaria representando um ponto de mudança [Zhu, 2017]. Logo, as seções a seguir abordam os diferentes tipos de detecção de anomalias em séries temporais: detecção de anomalias de tendência e detecção de pontos de mudança.

2.3.1 Anomalias

Observações que se destacam em um determinado domínio de conhecimento são consideradas anomalias, pois não seguem o padrão das demais observações do domínio. Em alguns contextos, as anomalias são consideradas exceções e acabam sendo descartadas no início das análises. Contudo, as anomalias detectadas não devem ser descartadas em um primeiro momento, pois podem ser mais relevantes do que as observações comuns ao determinado domínio de estudo [Han et al., 2012].

Assim, é interessante manter as anomalias para buscar analisar o motivo de suas aparições em determinadas séries temporais. As anomalias podem ser representadas como $a(s)$, conforme apresentado na Equação 2.1, onde $Q1(s)$ identifica o primeiro quartil, $Q3(s)$ o terceiro quartil e IQR a distância interquartil [Salles et al., 2020; Gupta et al., 2014]. Assim, os valores que forem identificados como anômalos em uma série temporal s , serão encontrados fora dos limites inferiores e superiores determinados.

$$a(s) = \{t, \forall t | s_t \notin [Q1(s) - 1.5 \cdot IQR(s), Q3 + 1.5 \cdot IQR(s)]\} \quad (2.1)$$

A Figura 1, apresenta a distribuição de dados em um gráfico *boxplot*, onde pode-se visualizar as anomalias no extremo inferior e superior do gráfico. A distância interquartil (IQR) é o resultado da diferença entre o terceiro quartil ($Q3$) e o primeiro ($Q1$).

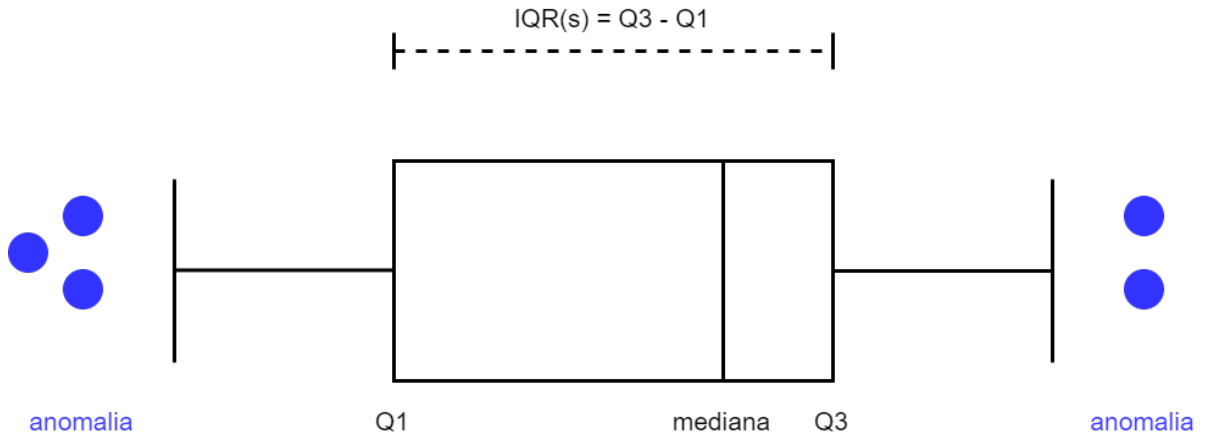


Figura 1: Gráfico *boxplot* adaptado de Han et al. [2012].

Detecção de anomalias de tendência

Visando identificar anomalias em séries temporais, é interessante analisar eventos que fujam à tendência do processo gerador de s , conforme apresentado na Equação 2.1, pois podem caracterizar anomalias que sejam pertinentes para as análises das atracações. Com o objetivo de detectar essas anomalias de tendência em uma série temporal s , é necessário definir \hat{s} como uma estimativa do processo gerador de s , que ajustado por um modelo β , resulta em $\hat{s}_t = \beta(s)_t$. Mediante a exclusão da tendência \hat{s} , obtém-se uma série temporal de resíduos (*white noise*) θ , onde as anomalias de tendência at da série podem ser detectadas através da Equação 2.2 [Salles

et al., 2020].

$$at(s) = a(\theta), \theta t = s_t - \hat{s}_t \quad (2.2)$$

Atualmente existem diversos métodos capazes de detectar anomalias de tendência em séries temporais, como: métodos de decomposição, *Forward and Backward Inertial Anomaly Detector* (FBIAD) entre outros. O método de decomposição atua com o particionamento da série temporal em sazonalidade, tendência e o complemento [Salles et al., 2020]. Já o método *FBIAD* utiliza janelas deslizantes, onde a série temporal é dividida em pequenas partes e em seguida é feita a classificação das anomalias após a varredura das janelas para frente e para trás [Lima et al., 2022].

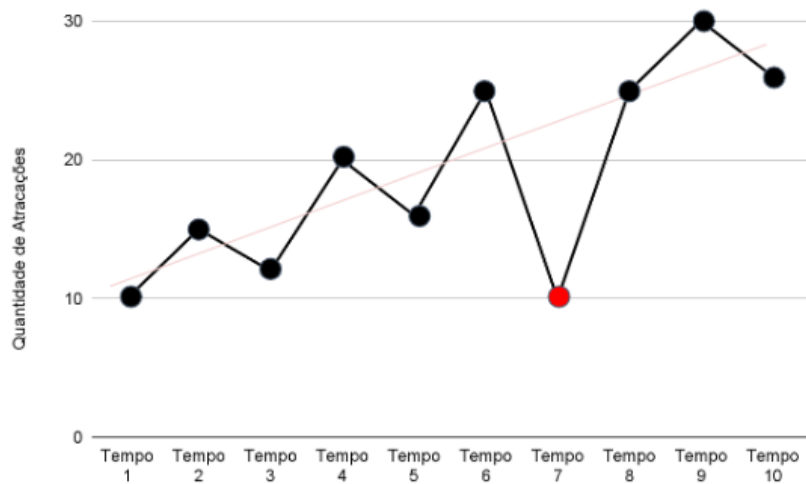


Figura 2: Série temporal sintética com as detecções obtidas pelo método FBIAD.

Na Figura 2 é apresentado uma série temporal sintética com uma leve tendência de alta, onde a anomalia de tendência é justamente a observação que se distancia temporariamente da tendência e retorna em um curto período de tempo, conforme pode ser observado o ponto marcado em vermelho.

Detecção de pontos de mudança

A detecção de pontos de mudança em séries temporais é caracterizada por alterações importantes em sua média, variância ou até distribuição de probabilidade [Aminikhanghahi and Cook, 2017]. Assim, com o objetivo de detectar pontos de mudança em séries temporais, Chen

and Zhang [2015] definiu um problema de teste de hipóteses para indicar essas mudanças, onde a hipótese nula H_N representa a não existência de pontos de mudança e a hipótese alternativa H_A indica a existência destes pontos. Tendo $seq_{t,i}(s)$ como subsequência de uma série temporal e $j, k \in \{t, \dots, t + p\}$, sendo $j < k$, chega-se formalmente que $H_N : \forall j, k (j \neq k) | P_{sj} = P_{sk}$ e $H_A : \forall j \exists k (j \neq k) | P_{sj} \neq P_{sk}$ [Chen and Zhang, 2015]. Assim, k está associado ao ponto de mudança e P_{st} representa a função densidade de probabilidade da subsequência [Salles et al., 2020].

Detectar pontos de mudança em séries temporais é uma tarefa desafiadora, logo Guralnik and Srivastava [1999] propôs o método *Seminal Change Point* (SCP), que acabou sendo utilizado como base para o desenvolvimento de diversos outros métodos. Adiante, diversos métodos foram propostos, como o *ChangeFinder* (CF) que é composto por duas fases, onde na primeira fase define-se uma série temporal s que, ajustada por um modelo β , resulta em \hat{s}_t , onde as anomalias são identificadas através dos resíduos existentes na série y , conforme a Equação 2.3 [Salles et al., 2020; Takeuchi and Yamanishi, 2006]. Na fase seguinte, a detecção de pontos de mudança é feita a partir do problema de detecção de anomalias em \bar{y}_x , onde \bar{y}_x representa uma série definida com as médias móveis de y com x termos [Salles et al., 2020].

$$y_t = (\hat{s}_t - s_t)^2, \hat{s}_t = \beta(s)_t \quad (2.3)$$

A Figura 3 apresenta uma série temporal sintética, onde os pontos de mudança são identificados pelo método CF, quando a partir de uma observação, a série muda totalmente a sua tendência. O ponto de mudança detectado será indicado por uma linha tracejada, conforme pode ser observado.

2.4 Framework Harbinger

Com o objetivo de detectar e analisar eventos nas séries temporais dos principais portos brasileiros, será utilizado o *framework Harbinger*, que é um integrador de diferentes métodos de detecção de eventos, citados ao longo da Seção 2.3. Após a aplicação dos métodos, foi possível identificar os eventos de anomalia de tendência e pontos de mudança a serem analisados. Logo, os eventos detectados nas séries temporais podem indicar variações no congestionamento dos portos.

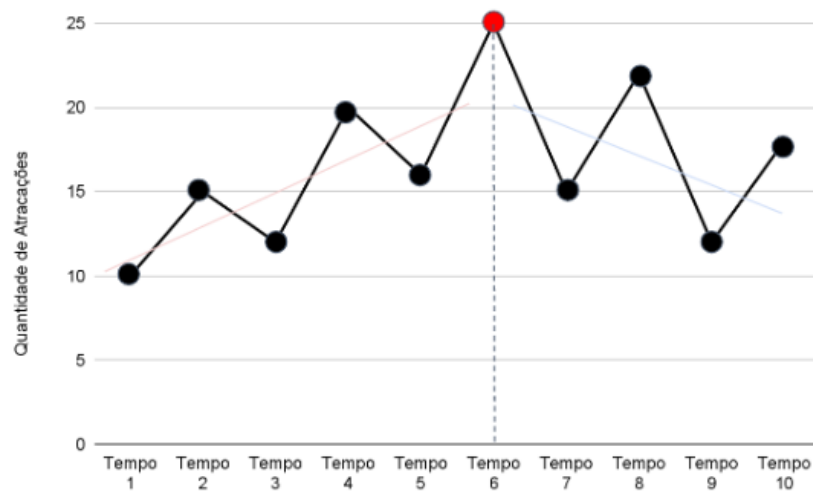


Figura 3: Série temporal sintética com as detecções obtidas pelo método CF.

Logo, o *framework Harbinger* é capaz de combinar diferentes tipos de métodos de detecção de eventos para uma melhor comparação e assim, auxiliar na escolha do melhor método a ser utilizado em um determinado contexto. Além de ser possível otimizar os parâmetros dos métodos já implementados pelo *framework Harbinger*, o mesmo permite a implementação de novos métodos. O desenvolvimento deste *framework* foi feito com a linguagem R e disponibilizado através de uma biblioteca que contém os módulos de detecção, avaliação, combinação e comparação dos resultados obtidos [Salles et al., 2020].

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Para levantar os trabalhos relacionados, foi realizada uma consulta com o objetivo de buscar estudos que abordem sobre o tempo de atracação nos portos marítimos e os principais problemas enfrentados mundialmente. A consulta no *Scopus* foi realizada no dia 16 de fevereiro de 2022, utilizando a seguinte *string* de busca: TITLE-ABS-KEY ("dwell time"OR "berth time") AND TITLE-ABS-KEY ("seaport"). O uso de *seaport* visa a busca por portos marítimos, *dwell time* refere-se ao tempo em que um navio permaneceu no porto e *berth time* ao tempo de atracação. Esta consulta resultou em 13 artigos. Desses, nove foram descartados, pois, não estavam relacionados a transporte marítimo ou não abordavam sobre atrasos nas atracações. Além da *string* de busca, foi utilizado a técnica de *Snowballing* a fim de expandir a busca através das citações dos artigos selecionados.

Visando identificar os principais fatores que afetam as logísticas dos portos, Nwokedi et al. [2021] e Simões and Marques [2010] analisaram de maneira sistemática, respectivamente, os portos da Nigéria e 41 portos da Europa. Após as análises, ambos os autores chegaram à conclusão, que um dos principais fatores que intensificam o congestionamento portuário é a falta de infraestrutura dos portos. Além da parte estrutural, Simões and Marques [2010] cita que a má gestão e influências políticas também podem estar associados ao aumento dos congestionamentos marítimos, que afetam negativamente as logísticas portuárias destes locais. Diferentemente destas abordagens, este trabalho utilizará os métodos de detecção de eventos implementados pelo *framework Harbinger*, de modo a identificar eventos em pontos específicos nas séries temporais dos principais portos brasileiros, visando análises mais pontuais dos principais fatores que possam estar associados às variações destes congestionamentos.

A permanência excessiva das embarcações nos berços é um dos fatores que intensificam as variações nos congestionamentos, pois, se a embarcação permanecer atracada por mais tempo existe uma escassez de berços, que conseqüentemente leva a um aumento nos atrasos das atracações. Assim, Smith [2021] fez uma análise do tempo de permanência dos navios porta contêineres, enquanto Moini et al. [2012] busca mensurar o tempo médio de permanência de contêineres e ambos os estudos visam portos nos Estados Unidos da América (EUA). O trabalho do Smith

[2021], realiza a análise em dados históricos do tempo de operação dos porta contêineres e conclui que o tipo de carga e falta de planejamento, influenciam diretamente para uma maior permanência desses navios nos portos. Já Moini et al. [2012], busca mensurar o tempo médio de permanência de um contêiner no porto com o auxílio de 3 diferentes algoritmos de mineração de dados e chegou a conclusão que a implementação de simples políticas públicas podem ser muito eficientes para diminuir o tempo de permanência dos contêineres nos portos.

Logo, pode-se avaliar que ambos os trabalhos abordados anteriormente, realizam análises específicas sobre tempo de permanência dos contêineres e navios porta contêineres nos portos, porém este trabalho busca identificar eventos que estejam relacionados às variações nos congestionamentos portuários e os seus principais fatores, através de análises mais específicas. Assim, analisando os trabalhos relacionados, selecionados através da consulta no *Scopus*, pode-se perceber a dificuldade em encontrar trabalhos que abordem especificamente sobre os atrasos nas atracações.

Capítulo 4

Metodologia

Buscando realizar a detecção dos eventos e posteriormente suas respectivas análises, foi necessário desenvolver as séries temporais com os dados disponibilizados publicamente pela ANTAQ. Logo, com o conjunto de dados da ANTAQ, foi necessário o desenvolver as séries temporais dos portos selecionados, que foram utilizadas na etapa de detecção dos eventos através dos métodos implementados pelo *framework Harbinger*, descritos ao longo da Seção 2.3. Os resultados obtidos, foram analisados com a finalidade de avaliar a revocação dos métodos e selecionar os principais fatores associados às variações nos congestionamentos portuários.

4.1 ETL

A construção do *dataset*, contendo os dados dos portos brasileiros, foi feita seguindo o conceito conhecido em inglês, como: *Extract, Transform and Load* (ETL). Este conceito é utilizado para realizar extrações de dados de uma determinada fonte, transformá-los de maneira que fique mais padronizado possível e em seguida, carregá-los em um arquivo ou banco de dados [Vassiliadis et al., 2002].

Em seguida, foi realizada a etapa de extração utilizando o site da ANTAQ, onde ficam disponíveis e organizados publicamente os dados referentes às atracções em portos brasileiros. Além dos dados das atracções, outros aspectos importantes para a navegação também ficam disponíveis para *download*, porém, não são abordados neste trabalho, como: o tipo de navegação das embarcações e as cargas transportadas.

Assim, foi realizada a extração das tabelas *Atracacao* e *TemposAtracacao*, contendo as informações, respectivamente, de todas as atracções ocorridas nos portos brasileiros e o tempo da duração de cada etapa daquela determinada atracção. Os dados são disponibilizados em arquivos no formato *Comma Separated Value* (CSV), onde as colunas e seus valores são separados por vírgula [Tapsai, 2019]. A primeira linha do arquivo apresenta o nome das colunas e as linhas subsequentes apresentam, respectivamente, os valores de cada uma das colunas.

Na Tabela 1 é possível observar todos os campos e tabelas que foram utilizadas na constru-

ção do *dataset* e a descrição de cada uma delas. Na tabela Atracacao, é possível identificar a data e hora da atracação de uma determinada embarcação através do campo "Data Atracação", já para descobrir onde foi realizada esta atracação, é utilizado o campo "Porto Atracação". Visando analisar o tempo de atraso e o número de atracações de um determinado porto, foi necessário remover os registros da tabela Atracacao que não tinham o campo "IDAtracacao" com a "Data Atracação" preenchida, pois, este comportamento indica que a embarcação ainda está navegando.

Tabela 1: Dicionário dos dados.

Tabela	Campo	Descrição
TemposAtracacao	IDAtracacao	Código de identificação da atracação.
TemposAtracacao	TEsperaAtracacao	Diferença entre a data/hora de atracação da embarcação e a data/hora de chegada no porto em horas.
TemposAtracacao	TEsperaInicioOp	Diferença entre a data/horas de início da operação da embarcação e a data/hora da atracação em horas.
TemposAtracacao	TOperacao	Diferença entre a data/hora de término da operação da embarcação e a data/hora do início da operação em horas.
TemposAtracacao	TEsperaDesatracao	Diferença entre a data/hora de desatracação da embarcação e a data/hora de término da operação em horas.
TemposAtracacao	TAtracado	Soma dos tempos desde que a embarcação permaneceu atracada até a sua desatracação em horas.
TemposAtracacao	TEstadia	Soma dos tempos desde que a embarcação chegou no porto até a sua desatracação em horas.
Atracacao	IDAtracacao	Código de identificação da atracação.
Atracacao	Data Atracação	Data e hora de atracação da embarcação no porto.
Atracacao	Porto Atracação	Nome do porto que a embarcação atracou.
Atracacao	Tipo de Operação	Informa a finalidade da atracação da embarcação.
Atracacao	Tipo de Navegação da Atracação	Informa o tipo de navegação da embarcação.
Atracacao	UF	Informa o nome da unidade da federação do porto em que a embarcação atracou.

Nas Tabelas 2 e 3, é possível observar os exemplos das tabelas de maneira simplificada. Buscando identificar o tempo de espera de uma embarcação, deve-se observar primeiramente a tabela Atracacao, buscando pelo seu identificador e posteriormente relacioná-lo com a tabela TemposAtracacao pelo campo IDAtracacao, onde será possível obter a informação desejada no

campo "TEsperaAtracacao".

Tabela 2: Tabela Atracacao simplificada.

IDAtracacao	Data Atracação	Porto Atracação	Tipo de Operação	Tipo de Navegação da Atracação	UF
1223675	31/12/2021 21:03:00	TERFRON Itaituba	Movimentação da Carga	Interior	Pará
1207140	31/12/2021 05:40:00	Belém	Passageiro	Interior	Pará
1215166	30/12/2021 07:40:00	Santos	Movimentação da Carga	Longo Curso	São Paulo
...
1215323	30/12/2021 01:40:00	Santos	Passageiro	Cabotagem	São Paulo
1207047	29/12/2021 20:02:00	Santarém	Apoio	Apoio Portuário	Pará
1207701	28/12/2021 22:55:00	Paranaguá	Movimentação da Carga	Longo Curso	Paraná

Tabela 3: Tabela TemposAtracacao simplificada.

IDAtracacao	TEsperaAtracacao	TEsperaInicioOp	...	TEstadia
1223675	237,05	0,08	...	239
1207140	0	0,03	...	0,36
1215166	22,96	1,4	...	42,96
...
1215323	0,67	0	...	37,33
1207047	0,03	0,13	...	3,98
1207701	2,91	2,70	...	16,33

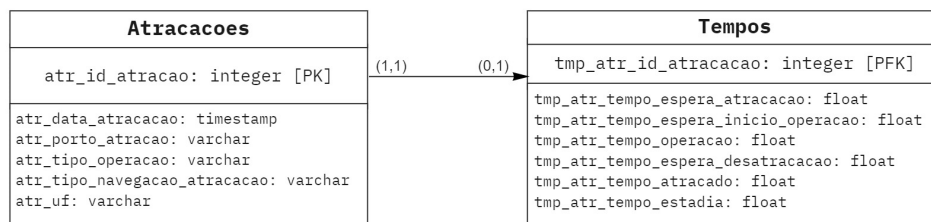
Na Tabela 4 é possível ver as transformações dos nomes que foram realizadas para uma melhor utilização dos *datasets*. As transformações foram feitas com a utilização do método *rename* da biblioteca *dplyr*. Além das nomenclaturas, foi necessário transformar as datas existentes nas tabelas para o formato americano com o auxílio do método *as.POSIXct*.

Por fim, na Figura 4 é apresentado o modelo lógico simplificado, desenvolvido para exemplificar o relacionamento entre as tabelas e a distribuição das chaves estrangeiras. Além disso, é definido o tipo de cada campo e a cardinalidade da relação, onde só existirá as informações na tabela "Tempos" quando tiver pelo menos um registro na tabela "Atracacoes". Esta cardinalidade ocorre, devido as embarcações que ainda estão em transito, ou seja, estão navegando em direção a um determinado porto. Assim, a construção do modelo foi desenvolvido seguindo o formato sugerido pela ANTAQ, porém neste trabalho só foram considerados os casos de atraca-

Tabela 4: Transformação das nomenclaturas.

Tabela (De)	Tabela (Para)	Campo (De)	Campo (Para)
TemposAtracacao	Tempos	IDAtracacao	tmp_atr_id_atracacao
TemposAtracacao	Tempos	TEsperaAtracacao	tmp_atr_tempo_espera_atracacao
TemposAtracacao	Tempos	TEsperaInicioOp	tmp_atr_tempo_espera_inicio_operacao
TemposAtracacao	Tempos	TOperacao	tmp_atr_tempo_operacao
TemposAtracacao	Tempos	TEsperaDesatracacao	tmp_atr_tempo_espera_desatracacao
TemposAtracacao	Tempos	TAtracado	tmp_atr_tempo_atracado
TemposAtracacao	Tempos	TEstadia	tmp_atr_tempo_estadia
Atracacao	Atracacoes	IDAtracacao	atr_id_atracao
Atracacao	Atracacoes	Data Atracacão	atr_data_atracacao
Atracacao	Atracacoes	Porto Atracacão	atr_porto_atracao
Atracacao	Atracacoes	Tipo de Operação	atr_tipo_operacao
Atracacao	Atracacoes	Tipo de Navegação da Atracacão	atr_tipo_navegacao_atracacao
Atracacao	Atracacoes	UF	atr_uf

ções que tiveram pelo menos 1 tempo associado, indicando que a embarcação chegou no porto de destino.

**Figura 4:** Modelo lógico simplificado do *dataset* desenvolvido.

4.2 Aplicação Framework Harbinger

Após o tratamento dos dados pelo processo ETL e a construção do *dataset*, foi possível desenvolver as séries temporais dos principais portos brasileiros ao longo dos anos de 2010 a 2021, que serão utilizadas pelos métodos de detecção de eventos. Visando detectar anomalias de tendência e pontos de mudança, foi necessário aplicar, respectivamente, o método FBIAD e CF.

Buscando utilizar os métodos de detecção, a importação do pacote *Harbinger* é necessária. Com o pacote importado, foram realizadas análises para identificar os principais portos, com a finalidade de aplicar os métodos em suas determinadas séries temporais. Os métodos identificam pontos de anomalias nos gráficos, que podem estar associados a fatores externos ou internos ao porto que estará sendo analisado.

O Algoritmo 1 apresenta a versão ensemble da detecção adotada neste trabalho. Dada uma série temporal y , a função *detectEvents* aplica os métodos *FBIAD* e *changeFinder* para detectar os eventos por tendência e de ponto de mudança. Os resultados são, respectivamente, registrados em de_1 e de_2 . As detecções comuns são registradas em de , correspondendo a interseção das detecções de_1 e de_2 . A partir dos eventos detectados de , pode-se avaliar a acurácia a partir dos eventos reais documentados que ocorreram nos portos. Uma detecção é válida, quando a notícia e o evento detectado são identificados em um período de até duas semanas de tolerância, pois os reflexos das notícias demoram a aparecer nas séries temporais.

Algoritmo 1 Detecção ensemble de eventos

```

1: function detectEvents( $y$ )
2:    $de_1 \leftarrow FBIAD(y)$ 
3:    $de_2 \leftarrow changeFinder(y)$ 
4:    $de \leftarrow (de_1 \cap de_2)$ 
5:   return  $de$ 

```

4.3 Análise dos Eventos Detectados

Inicialmente, é feita uma análise exploratória com o objetivo de identificar os principais portos brasileiros e abordar suas principais características. Adiante, são selecionados os portos de interesse, sendo estes os principais portos brasileiros. Após a redução do escopo, os métodos FBIAD e CF do *framework Habinger* são utilizados para realizar as detecções dos eventos nas séries temporais.

Em seguida, os eventos detectados foram analisados de maneira quantitativa, onde é possível observar a quantidade de detecções obtidas e o tempo decorrido para as detecções em cada uma das séries temporais dos principais portos. Adiante, foi realizada a análise qualitativa, que tem o objetivo de avaliar a revocação das detecções através de pesquisas por notícias que possam estar associadas aos eventos detectados. Além disso, também foram selecionados os principais fatores que possam estar relacionados ao aumento e a diminuição do acúmulo de atrasos em horas nas atracações, causando os congestionamentos portuários.

Visando buscar fatores que possam estar associados aos eventos detectados, foi necessário pesquisar notícias em fóruns específicos sobre navegações marítimas no Brasil, como: "Portos e Navios" e ANTAQ. Além de buscar fatores associados através dos fóruns, foram utilizadas as séries temporais do Número de Atracações Efetuadas (NAE) com periodicidade semanal, visando identificar se os portos registraram variações positivas ou negativas nos atrasos de ma-

neira proporcional ao volume de atracções no mesmo período.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Datasets

Visando facilitar a construção das séries temporais relacionadas aos atrasos e atracções dos navios aos portos, foi necessário criar *datasets* específicos com a utilização da linguagem de programação R. A construção destes *datasets*, teve como base os dados obtidos no portal da ANTAQ de 2010 a 2021, que foram tratados ao longo do processo de ETL deste trabalho. Assim, na Tabela 5 é possível observar de maneira semanal e simplificada o número de atracções de alguns dos portos.

Tabela 5: *Dataset* simplificado do número de atracções efetuadas semanalmente.

data	Terminal de Tubarão	Paranaguá	...	Santos
2010-01-03	4	7	...	30
2010-01-10	14	31	...	132
2010-01-17	14	39	...	113
...
2021-12-19	8	40	...	92
2021-12-26	11	35	...	87
2022-01-02	7	22	...	61

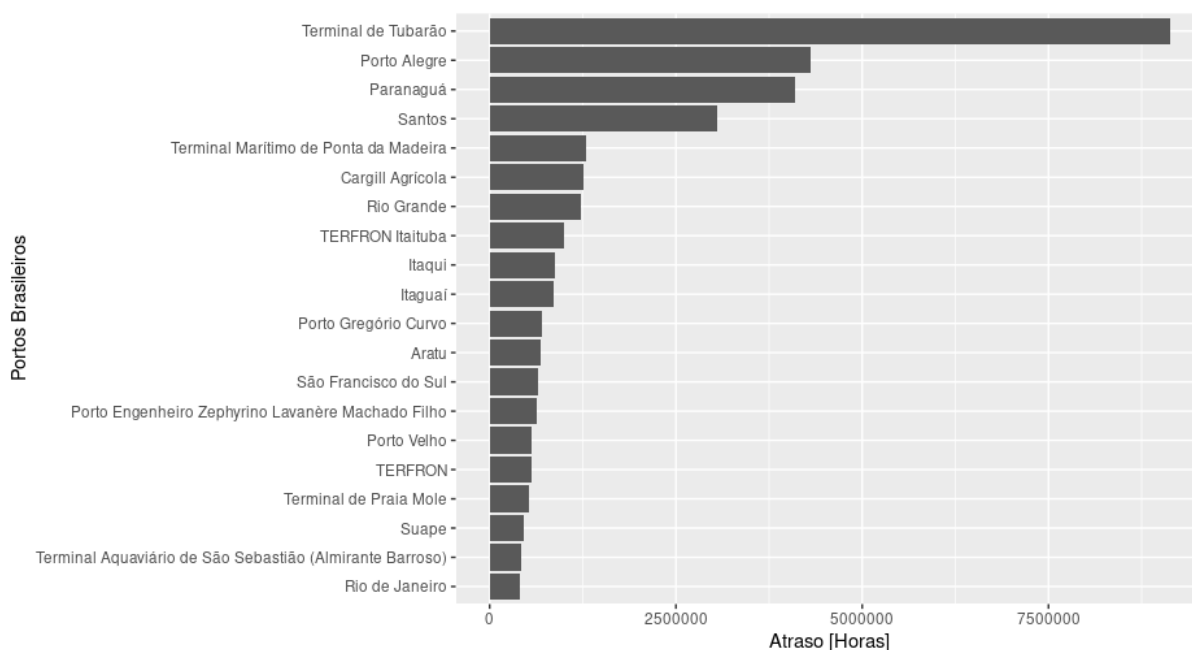
A Tabela 6 apresenta o *dataset* simplificado, que foi desenvolvido para gerar as séries temporais do atraso acumulado em horas das atracções semanalmente. Pode-se observar que na primeira coluna exibe as datas agrupadas pelo último dia da semana, onde o *dataset* inicia no dia 3 de janeiro de 2010 e termina no dia 02 de janeiro de 2022, porém o somatório dos atrasos em horas é limitado para os anos de 2010 a 2021. As colunas seguidas da data armazenam o atraso acumulado semanalmente de cada um dos portos existentes no território brasileiro. Assim, com os *datasets* foi possível gerar os gráficos, realizar as detecções e análises de maneira mais otimizada.

Tabela 6: *Dataset* simplificado do atraso em horas das atracções semanal.

data	Terminal de Tubarão	Paranaguá	...	Santos
2010-01-03	1251.3	462.8	...	514.1
2010-01-10	3411.9	1231.8	...	2510.2
2010-01-17	3011.4	1710.3	...	1787.7
...
2021-12-19	1660.9	8992.8	...	3691.2
2021-12-26	1330.5	8007.9	...	3908.6
2022-01-02	430.6	1903.4	...	2101.4

5.2 Análise Exploratória

Nesta etapa, foram feitas algumas análises exploratórias, visando identificar os principais portos brasileiros a serem explorados. Assim, com o auxílio dos *datasets*, foram desenvolvidos *rankings* para avaliar quais são os portos com o maior acúmulo de atrasos e maior número de atracções ao longo de 2010 a 2021. A Figura 5 apresenta o *ranking* dos 20 portos que tiveram o maior acúmulo de atrasos, onde é possível observar que o Terminal de Tubarão se destaca em comparação aos demais portos.

**Figura 5:** *Ranking* dos portos com maior acúmulo de atrasos nas atracções.

Na Figura 6 é possível observar o *ranking* dos 20 portos que receberam o maior número de atracções dentro do período de 2010 a 2021. Entre todos os portos, Santos é o porto com o maior número de atracções, porém encontra-se com o acúmulo de atrasos inferior a Porto

Alegre. Assim, é possível observar que Porto Alegre, apesar de não se destacar no número de atracções efetuadas, apresenta um acúmulo de atrasos superior a portos mais relevantes como Santos.

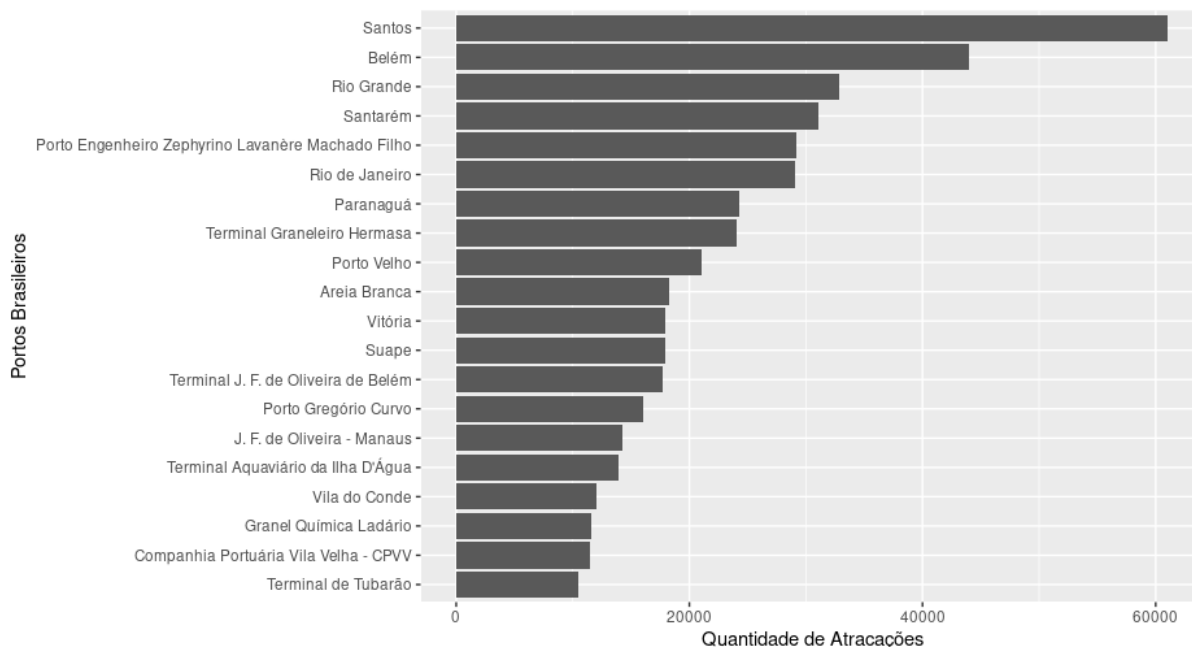


Figura 6: *Ranking* dos portos com maior número de atracções efetuadas.

Para realizar as análises a seguir, foram selecionados 3 portos que tiveram o maior acúmulo de atrasos, conforme o *ranking* apresentado na Figura 5, porém estes portos devem conter um alto número de atracções, ou seja, precisam constar no *ranking* do número de atracções efetuadas, exibido na Figura 6. Assim, utilizando as métricas citadas anteriormente, foram selecionados os seguintes portos: Terminal de Tubarão, Paranaguá e Santos.

5.2.1 Terminal de Tubarão

O Terminal de Tubarão está localizado no estado do Espírito Santo e atualmente é um dos portos graneleiros mais eficientes do mundo. Este porto é privado e administrado pela empresa Vale S.A., onde é movimentado principalmente minério de ferro, através das navegações de longo curso. Assim, este porto fica responsável por exportar granéis a outros países, principalmente para a China que é o principal destino da maioria dos produtos comercializados do Brasil [ANTAQ, 2020a].

Assim, para explorar o comportamento do Terminal de Tubarão ao longo dos anos, foi desenvolvida a Figura 11, que apresenta a série temporal com periodicidade semanal, onde

pode-se observar o acúmulo de atrasos nas atracações ao longo do período de 2010 a 2021. Para este gráfico, é interessante observar que até o final de 2015 o acúmulo de atrasos se mantinha próximo de zero horas, porém após este período o porto veio mudando o seu comportamento, atingindo acúmulos de atrasos muito elevados, ultrapassando 90 mil horas em determinadas semanas. Já em meados de 2021, o porto voltou a reduzir o acúmulo de atrasos por pelo menos 5 meses, demonstrando um comportamento semelhante aos registros anteriores a 2015.

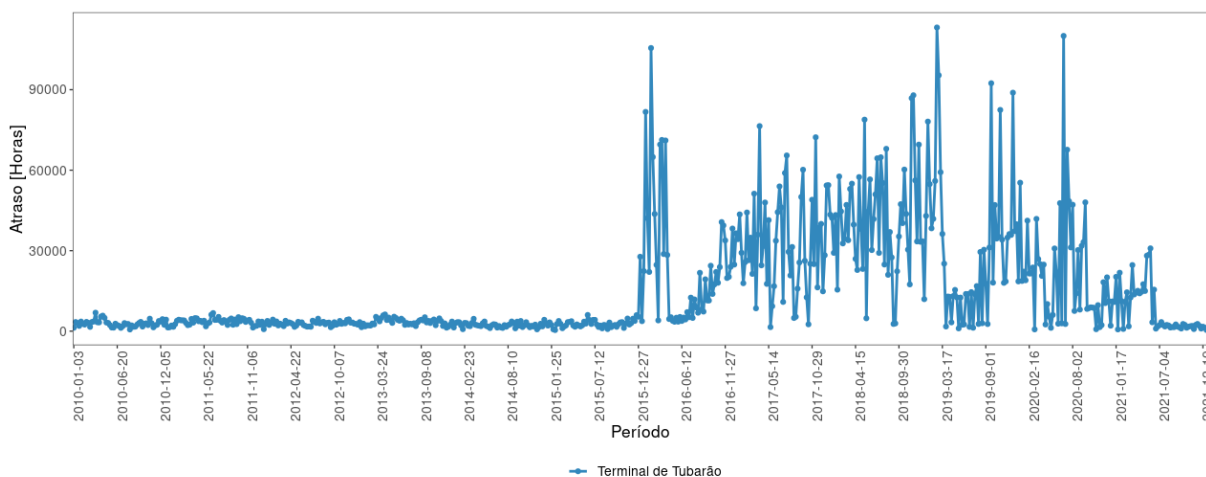


Figura 7: Série temporal AAHA do Terminal de Tubarão.

Além da série temporal Acúmulo de Atrasos em Horas nas Atracações (AAHA), também é possível observar na Figura 8, a série temporal NAE que ocorreram no Terminal de Tubarão de 2010 a 2021. O número de atracações nesta série veio se mantendo constante de 2010 até 2015, assim como a série temporal AAHA, porém a partir do final de 2015 o Terminal de Tubarão começou a receber um volume de atracações superior ao registrado anteriormente. Já no final de 2018 este volume vem reduzindo, chegando ao número de atracações efetuadas inferior ao registrado no período de 2010 a 2015. Assim, o Terminal de Tubarão demonstra não possuir uma logística eficiente quando o número de atracações efetuadas aumenta e acaba gerando grandes congestionamentos.

5.2.2 Porto de Paranaguá

O porto de Paranaguá é um porto de administração pública estadual e encontra-se no estado do Paraná. Atualmente este porto é o maior exportador de mercadorias agrícolas do Brasil, sendo a soja e o milho os principais produtos comercializados. Em 2021, o porto alcançou uma movimentação de 56 milhões de toneladas, distribuídas entre exportação e importação [Massa,

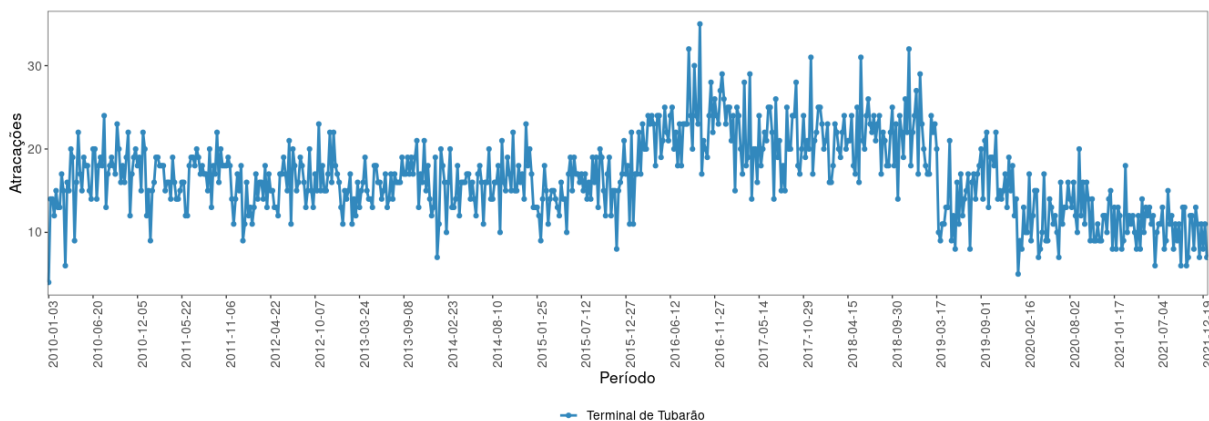


Figura 8: Série temporal NAE do Terminal de Tubarão.

2022].

Visando analisar o comportamento do Porto de Paranaguá ao longo dos anos de 2010 a 2021, foi desenvolvida a série temporal AAHA, conforme pode ser visto na Figura 9. Nesta série, pode-se observar que existe uma alta volatilidade ao longo de todo o período das observações, porém ao final de 2012 percebe-se uma variação que ultrapassou as 20 mil horas acumuladas de atrasos nas atracções. Em seguida, a série voltou a atingir valores inferiores com um certo grau de volatilidade ao longo dos anos.

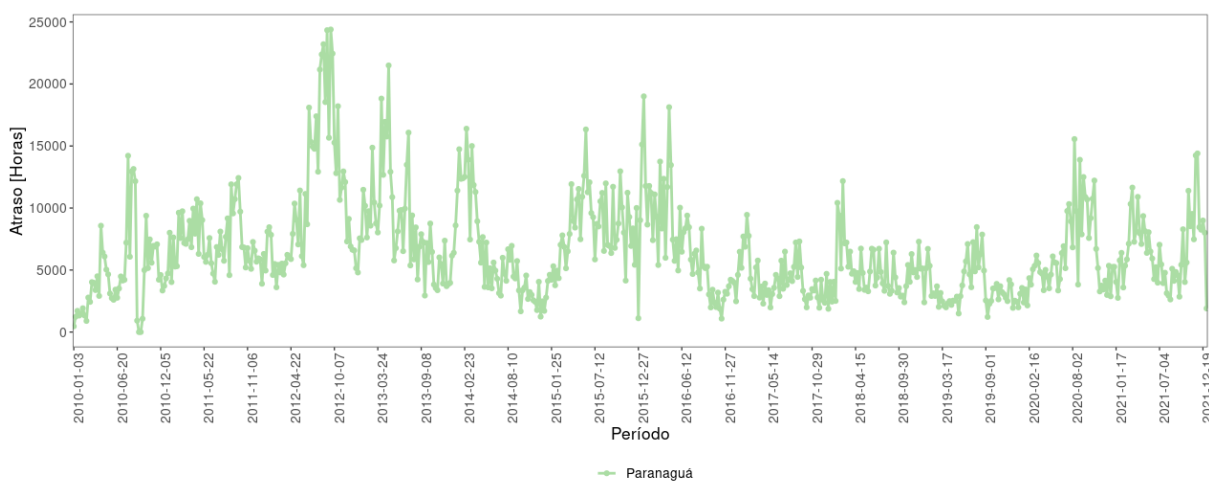


Figura 9: Série temporal AAHA do Porto de Paranaguá.

Adiante, a Figura 10 apresenta a série temporal semanal da quantidades de atracções no Porto de Paranaguá ao longo do mesmo período citado anteriormente. As atracções neste porto são constantes ao longo de todas as observações, tendo apenas uma queda acentuada no número de atracções efetuadas no final de 2010. É possível observar na Figura 9 que existe uma queda semelhante no acúmulo de atrasos neste mesmo período. Ademais, a volatilidade no acúmulo

de atrasos neste porto não tem indícios de estar relacionado ao aumento de volume no número de atracções efetuadas.

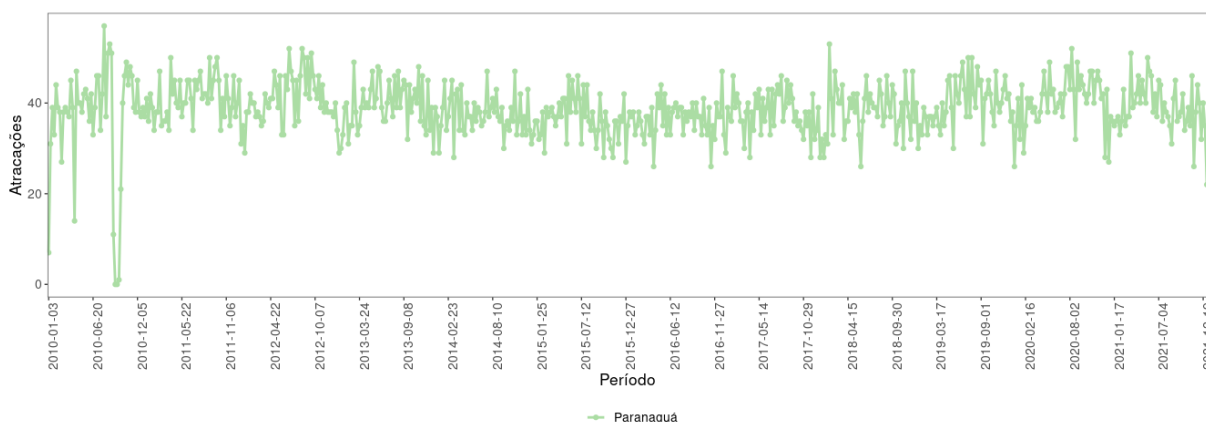


Figura 10: Série temporal NAE do Porto de Paranaguá.

5.2.3 Porto de Santos

O porto de Santos encontra-se no estado de São Paulo e atualmente é o principal porto público em relação ao número de mercadorias transportadas ao longo dos anos, chegando a movimentar 30,5 milhões de toneladas no terceiro trimestre de 2020 e 27,4 milhões no mesmo período de 2021. As principais mercadorias transportadas no porto de Santos são: contêiner, açúcar e milho. No terceiro trimestre de 2020, contêiner e milho somaram 15,5 milhões, ou seja, foram responsáveis por mais de 50% das toneladas transportadas. Já em 2021, contêiner e açúcar chegaram a 13,8 milhões de toneladas, sendo 50,3% do total no mesmo período. [ANTAQ, 2020a, 2021a].

Buscando explorar o comportamento do Porto de Santos, a Figura 11 contém a série temporal AAHA com periodicidade semanal ao longo de 2010 a 2021. É possível observar que a série temporal deste porto apresenta alta volatilidade, porém em meados de 2010 percebe-se um aumento significativo nos atrasos, que no final de 2010 sofreu uma redução bem acentuada. Em seguida, a série temporal mantém a alta volatilidade do acúmulo de atrasos em horas ao longo de todo o período.

Em seguida, na Figura 12 pode-se observar a série temporal NAE do Porto de Santos. Diferentemente da alta volatilidade da Figura 11, a série temporal NAE se mantém com uma leve tendência de baixa nos últimos anos. Assim, não é possível correlacionarmos as duas séries temporais, pois a volatilidade no acúmulo dos atrasos nas atracções não se justifica, pois o

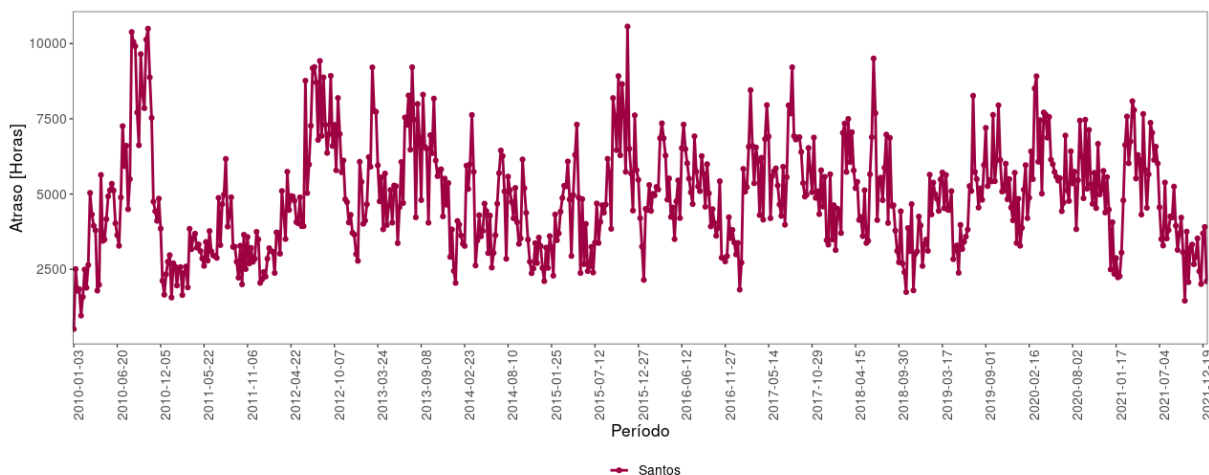


Figura 11: Série temporal AAHA do Porto de Santos.

número de atracções efetuadas se mantém decrescente ao longo de todas as observações.

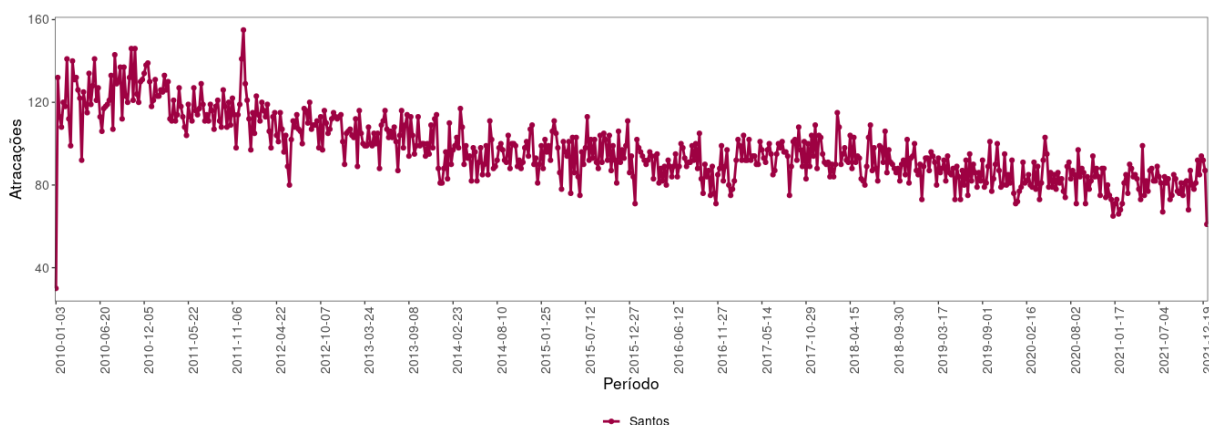


Figura 12: Série temporal NAE do Porto de Santos.

5.3 Análise Quantitativa

Nesta etapa, será apresentada a análise quantitativa das detecções dos eventos nas séries temporais AAHA e NAE. Assim, foram utilizadas as séries temporais do Terminal de Tubarão, Paranaguá e Santos, onde cada série contém 627 observações no período de 2010 a 2021. Para realizar as análises, os métodos FBIAD e CF foram utilizados para detectar, respectivamente, anomalias de tendência e pontos de mudança.

A Tabela 7 apresenta a quantidade de detecções obtidas pelos métodos FBIAD e CF nas séries temporais NAE e séries temporais AAHA. Já no Apêndice 1 é possível ver com detalhes cada uma das notícias encontradas para cada um dos portos ao longo deste trabalho. Assim, pode-se observar que os métodos tiveram um maior número de detecções de eventos na série

Tabela 7: Eventos detectados nas séries temporais NAE e AAHA.

Porto	FBIAD (NAE)	CF (NAE)	ensemble (NAE)	FBIAD (AAHA)	CF (AAHA)	ensemble (AAHA)
Terminal de Tubarão	28	15	10	212	45	45
Paranaguá	18	21	15	59	36	11
Santos	14	30	11	20	21	8

temporal AAHA, pois, estes apresentam uma maior volatilidade, conforme visto na Seção 5.2. Além das detecções obtidas por cada um dos métodos, foi observado a interseção entre o FBIAD e CF, ensemble, visando uma maior revocação e precisão nas detecções.

Para calcular a revocação, foi utilizado a Equação 5.1, onde a revocação é definida pelo módulo da interseção entre a quantidade de notícias identificadas $qtni$ e quantidade de eventos detectado $qted$, dividido pelo módulo de $qtni$. Já para encontrar a precisão, utiliza-se a Equação 5.2, onde a precisão também é definida pelo módulo da interseção entre $qtni$ e $qted$, porém é necessário dividir por $qted$.

$$\text{revocação} = \frac{|qtni \cap qted|}{|qtni|} \quad (5.1)$$

$$\text{precisão} = \frac{|qtni \cap qted|}{|qted|} \quad (5.2)$$

A Tabela 8 exhibe a parte quantitativa relacionado as validações das detecções. Neste trabalho, foram utilizadas as notícias identificadas (NI), como sendo o gabarito para os eventos detectados pelos métodos. Logo, na Tabela 8 é possível observar a quantidade de detecções válidas (DV) para as detecções *ensemble* na série temporal AAHA. É considerado uma detecção válida, quando a notícia e o evento são identificados em um período de até duas semanas de tolerância. Logo, também foi indicado a quantidade de detecções válidas na mesma semana (DVS), quantidade de detecções válidas com notícias identificadas em semanas anteriores (DVA) e quantidade de detecções válidas com notícias identificadas em semanas posteriores (DVP).

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as avaliações das detecções dos eventos obtidos. O método FBIAD teve uma boa revocação, porém a precisão ficou muito abaixo em determinados portos, como o de Tubarão na série temporal AAHA. No entanto, o *ensemble* obteve resultados

Tabela 8: Detecções válidas na série temporal AAHA.

Porto	NI	DV (ensemble)	DVS (ensemble)	DVA (ensemble)	DVP (ensemble)
Terminal de Tubarão	9	8	1	3	4
Paranaguá	13	4	0	2	2
Santos	18	5	0	3	2

promissores na série temporal AAHA, onde a precisão ficou acima de 60% para o porto de Santos, porém a revocação foi abaixo dos 30%. Já as avaliações realizadas na série temporal NAE, não demonstraram bons resultados em comparação às avaliações realizadas na série temporal AAHA. Logo, o *ensemble* alcançou uma média de aproximadamente 49% na revocação e 40% na precisão das detecções na série temporal AAHA.

Tabela 9: Avaliações das detecções na série temporal NAE.

Porto	revocação (FBIAD)	revocação (CF)	revocação (ensemble)	precisão (FBIAD)	precisão (CF)	precisão (ensemble)
Terminal de Tubarão	66.7%	22.2%	11.1%	21.4%	13.3%	10.0%
Paranaguá	23.1%	38.5%	23.1%	16.7%	23.8%	20.0%
Santos	27.8%	55.6%	27.8%	35.7%	33.3%	45.5%

Tabela 10: Avaliações das detecções na série temporal AAHA.

Porto	revocação (FBIAD)	revocação (CF)	revocação (ensemble)	precisão (FBIAD)	precisão (CF)	precisão (ensemble)
Terminal de Tubarão	100.0%	88.9%	88.9%	4.2%	17.8%	17.8%
Paranaguá	53.8%	61.5%	30.8%	11.9%	22.2%	36.4%
Santos	27.8%	38.9%	27.8%	25.0%	33.3%	62.5%

Na Tabela 11 é possível observar o tempo em segundos que foi necessário para os métodos realizarem as detecções dos eventos. A maioria das detecções foi computada com o tempo inferior a 3 segundos, porém, o método CF para a série temporal NAE do Terminal de Tubarão, levou 16 segundos. Contudo, os métodos obtiveram tempos satisfatórios mediante a quantidade de observações e a alta volatilidade nas séries temporais.

5.4 Análise Qualitativa

Nesta fase, mediante as detecções dos eventos nas séries temporais NAE e AAHA, foi realizada uma análise qualitativa de cada um dos portos selecionados na Seção 5.2. Assim, na

Tabela 11: Tempo decorrido das detecções.

Porto	FBIAD (NAE)	CF (NAE)	FBIAD (AAHA)	CF (AAHA)
Terminal de Tubarão	0.02s	0.16s	0.01s	0.01s
Paranaguá	0.01s	0.01s	0.04s	0.01s
Santos	0.01s	0.01s	0.01s	0.01s

análise qualitativa, foram utilizadas as séries temporais contendo as detecções dos eventos obtidos pelo *ensemble*, que podem ser identificados pelos pontos marcados em vermelho ou pelas linhas tracejadas. No entanto, caso o evento detectado esteja associado a pelo menos uma notícia relevante, será evidenciado em verde no gráfico. Já as notícias que não foram identificadas no mesmo período dos eventos detectados pelo *ensemble*, são representadas por pontos azuis ao longo das séries temporais, conforme pode ser observado na Figura 13.

A busca por notícias relevantes, foi baseada na série temporal AAHA, pois, a variação nesta série está diretamente ligada aos congestionamentos portuários. Além de verificar a revocação dos eventos detectados pelo *ensemble*, foram obtidos os principais fatores associados ao aumento ou diminuição do acúmulo de atrasos nas atracções no Terminal de Tubarão, Paranaguá e Santos.

5.4.1 Terminal de Tubarão

A Figura 13 apresenta a série temporal AAHA do Terminal de Tubarão, onde pode-se observar os eventos detectados pelo *ensemble* ao longo do período de 2010 a 2021. Visando associar as notícias aos eventos detectados, foi noticiado no dia 21 de janeiro de 2016, onde a Polícia Federal interditou parte das operações no Terminal de Tubarão por suspeita de crime ambiental em razão da detecção de pó de minério no mar e da emissão de poeira de carvão no ar [Navios, 2016a]. Logo, na Figura 13 é possível observar que no mesmo período existiu um alto acúmulo de atrasos nas atracções, pois o Terminal de Tubarão encontrava-se com parte de suas operações interditadas. A gestora do Terminal de Tubarão, Vale S.A., informou que a interdição estava causando um prejuízo diário de 35 milhões de reais, pois deixava de exportar aproximadamente 200 mil toneladas de minério de ferro. Assim, no dia 26 de janeiro de 2016, a gestora conseguiu uma liminar que liberou a retomada das operações no Terminal de Tubarão [Vale, 2016a]. Logo, após este período de interdição, é possível identificar uma queda bem acentuada, indicando que o Terminal de Tubarão conseguiu retomar suas operações. Além da retomada

das operações, no dia 23 de março de 2016, a gestora Vale concluiu diversas melhorias na área operacional, tais como: adição de correias transportadoras, que carregam o minério de ferro até os navios e novos equipamentos de limpeza [Navios, 2016c]. Assim, juntamente com a liberação das operações, as melhorias implementadas podem estar relacionadas à redução dos atrasos em meados de 2016.

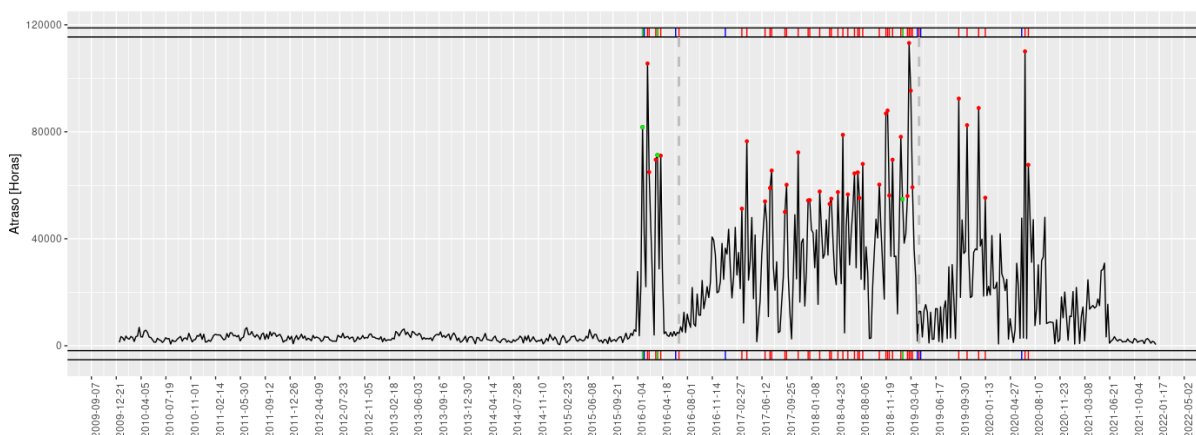


Figura 13: Eventos detectados na série temporal AAHA do Terminal de Tubarão.

Após a queda dos atrasos, foi detectado um ponto de mudança em junho de 2016, onde a partir deste ponto, o Terminal de Tubarão veio atingindo uma alta volatilidade nos atrasos até meados de 2021. No período em que foi detectado o ponto de mudança, a Vale anunciou, no dia 10 de junho de 2016, o início do fechamento de uma das principais correias transportadoras do Terminal de Tubarão, que teve a sua conclusão no dia 06 de janeiro de 2017 [Vale, 2016b, 2017]. Assim, pode-se observar que desde o anúncio do fechamento das correias, o Terminal de Tubarão veio mudando o seu comportamento, atingindo um alto volume de atrasos nas atracações ao longo dos anos.

No início de 2019, pode-se observar outro ponto de mudança detectado, onde algumas semanas antes o Terminal de Tubarão atingiu o maior acúmulo de atrasos de todo o período analisado, alcançando quase 120 mil horas em poucas semanas. Em seguida, após o ponto de mudança detectado em 2019, o porto atingiu um acúmulo de atrasos inferior às observações posteriores ao ano de 2017. Buscando análises sobre os eventos detectados no período de maior acúmulo de atrasos no Terminal de Tubarão, foi identificado a nota da Vale, no dia 25 de janeiro de 2019, informando sobre rompimento da barragem na Mina Feijão, em Brumadinho (MG) [Vale, 2019]. O rompimento da barragem trouxe diversas paralisações nas operações de mineração realizadas pela empresa Vale, o que segundo o portal de notícias "Portos e Navios", no dia 10 de abril de 2019, teve como consequência a redução acentuada do número de minérios

exportados [Navios, 2019]. Assim, entende-se que neste período inicial de 2019, houve um alto acúmulo de atrasos nas atracções, porque o rompimento da barragem afetou toda a cadeia exportadora da empresa Vale e em seguida existiu uma diminuição drástica nesses atrasos, pois a quantidade de minérios a serem exportados eram ínfimos.

Adiante, na Figura 14 é possível identificar os eventos detectados pelo *ensemble*, na série temporal NAE. Esta detecção foi realizada, visando identificar se os eventos apresentados na Figura 13, relacionados com as detecções na Figura 14, trariam as notícias mais relevantes, citadas anteriormente. Neste caso, a detecção do ponto de mudança e de algumas anomalias, no segundo semestre do ano de 2016, foram detectadas alguns meses após a interdição do Terminal de Tubarão pela Polícia Federal [Navios, 2016a]. Além disso, foi detectado em 2019, algumas anomalias de tendência no mesmo período do rompimento da barragem em Brumadinho [Vale, 2019]. Assim, é possível realizar algumas associações entre as duas séries, porém as notícias identificadas ficaram mais próximas dos eventos detectados na série temporal AAHA.

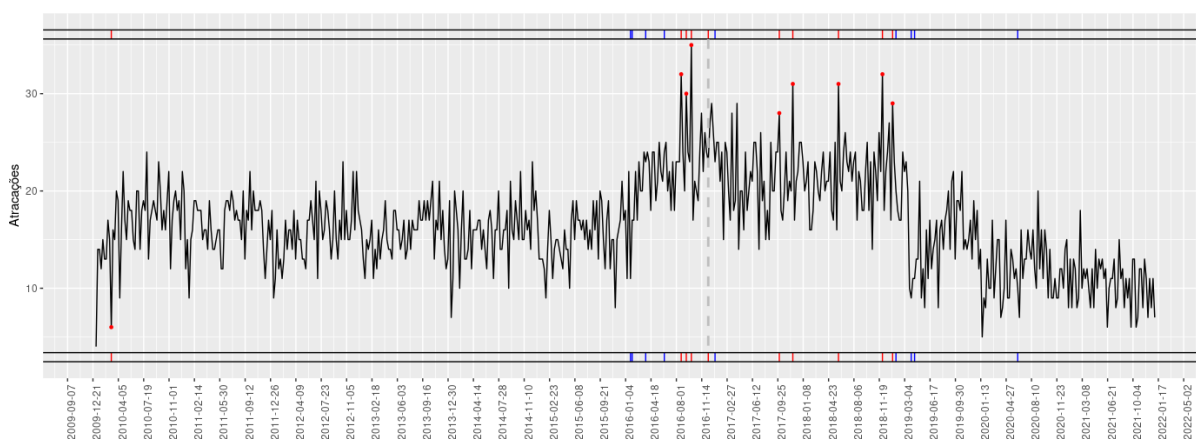


Figura 14: Eventos detectados na série temporal NAE do Terminal de Tubarão.

Assim, foi possível observar, que as notícias identificadas ocorreram no mesmo período ou em períodos bem próximos aos eventos detectados pelo *ensemble*, na série temporal AAHA. Já para a série temporal NAE, as notícias ficaram mais distantes dos eventos detectados. Além disso, foram seleccionados fatores associados ao aumento ou a diminuição dos atrasos nas atracções no Terminal de Tubarão, onde a falta de investimento em infraestrutura, greves, desastres e crimes ambientais, foram os principais fatores identificados.

5.4.2 Porto de Paranaguá

A Figura 15 exibe a série temporal AAHA do porto de Paranaguá, onde é possível observar os eventos detectados pelo *ensemble*. Visando associar as notícias aos eventos detectados em 2010, no dia 14 de julho de 2010, foi noticiada a interdição do porto de Paranaguá pelo Ibama por descumprir acordos ambientais nas operações portuárias [Navios, 2010b]. Assim, neste período existiu um aumento dos atrasos, seguido de uma queda acentuada, pois, conforme observado na Figura 10, o número de atracções efetuadas no porto foi reduzida devido a interdição realizada pelo Ibama.

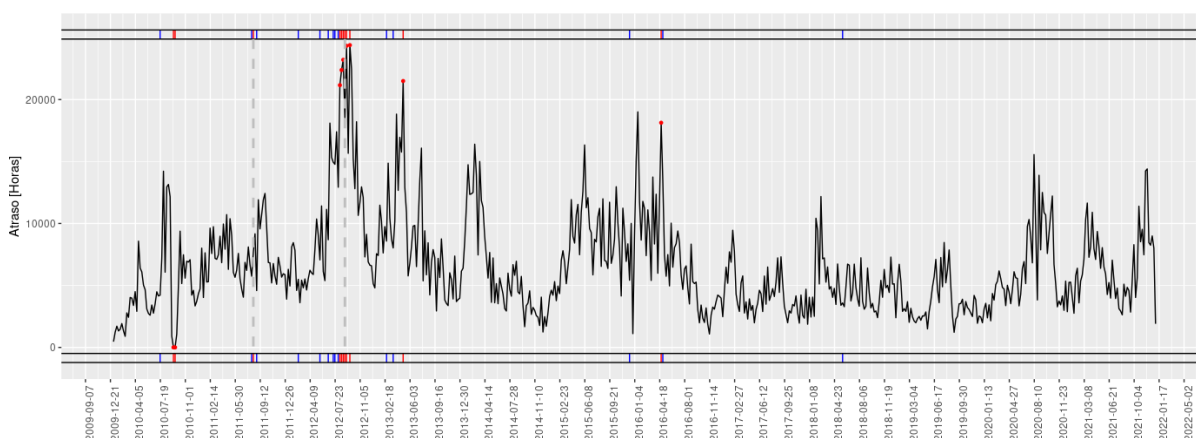


Figura 15: Eventos detectados na série temporal AAHA do porto de Paranaguá.

Em meados de 2011, foi detectado um evento de ponto de mudança e neste mesmo período foram identificadas diversos acontecimentos, onde nos dias 02 e 03 de agosto de 2011, o porto de Paranaguá registrou um aumento significativo na quantidade de cargas, gerando uma fila de caminhões para descarregar no porto [Navios, 2011b,a]. Em seguida, no dia 26 de agosto de 2011, foi anunciado que o porto voltaria a exportar a soja do Paraguai, gerando ainda mais volume de cargas movimentadas no porto [Navios, 2011c].

Buscando análises no período de 2012, no dia 22 de junho de 2012, o porto de Paranaguá registrou mau tempo, o que afetou diretamente as suas operações, deixando em torno de 90 embarcações na espera para atracar [Navios, 2012b]. Já no dia 19 de julho de 2012, ocorreu uma greve dos auditores da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) no porto de Paranaguá. Esta greve afetou todas as operações no porto, pois os auditores são responsáveis por emitir os certificados de livre prática nos portos [Navios, 2012a]. Logo, os reflexos do mau tempo e da paralisação são refletidos na série temporal, pois no mesmo período é possível observar o aumento dos atrasos nas atracções.

No período de 2013, foi detectado um único evento no mês de maio, onde foi registrado uma anomalia de tendência em um ponto com alto acúmulo de atrasos nas atracações. Após as pesquisas, no dia 20 de março de 2013, foi identificada uma fila de aproximadamente 100 navios aguardando para atracarem no porto de Paranaguá [Navios, 2013]. A fila de navios foi intensificada, devido a quebra de produção dos Estados Unidos seguida da notícia da supersafra de soja Brasileira, fazendo com que navios de diferentes países se deslocassem para o litoral paranaense, em busca de bons contratos [Navios, 2013]. Além deste fato, as fortes chuvas voltaram a paralisar as operações no porto de Paranaguá, intensificando ainda mais os atrasos nas atracações, conforme é possível observar na série temporal neste mesmo período. Já em 2016, pode-se observar a detecção de uma anomalia de tendência em abril, onde no dia 28 de abril de 2016, o porto de Paranaguá registrou recorde de movimentação de cargas [Navios, 2016b]. Além dessa informação, não foi possível encontrar nenhuma outra matéria que esteja associada ao ponto detectado neste ano de 2016.

Na Figura 16 é possível observar a série temporal NAE com os eventos detectados pelo *ensemble*. As detecções foram realizadas nesta série, visando identificar as notícias de eventos importantes com maior precisão, através da correlação entre os eventos detectados nas Figuras 15 e 16. Assim, em meados de 2010, foram detectados eventos em comum nas duas séries, onde neste período foi identificado a interdição do porto de Paranaguá pelo Ibama [Navios, 2010b]. Ademais, não foi possível realizar nenhuma outra correlação entre os eventos detectados. Logo, neste porto não foi possível obter bons resultados ao relacionar os eventos detectados entre as duas séries temporais, pois, as detecções apresentadas na Figura 15, estão associadas a diversos outros eventos relevantes para a compreensão do porto.

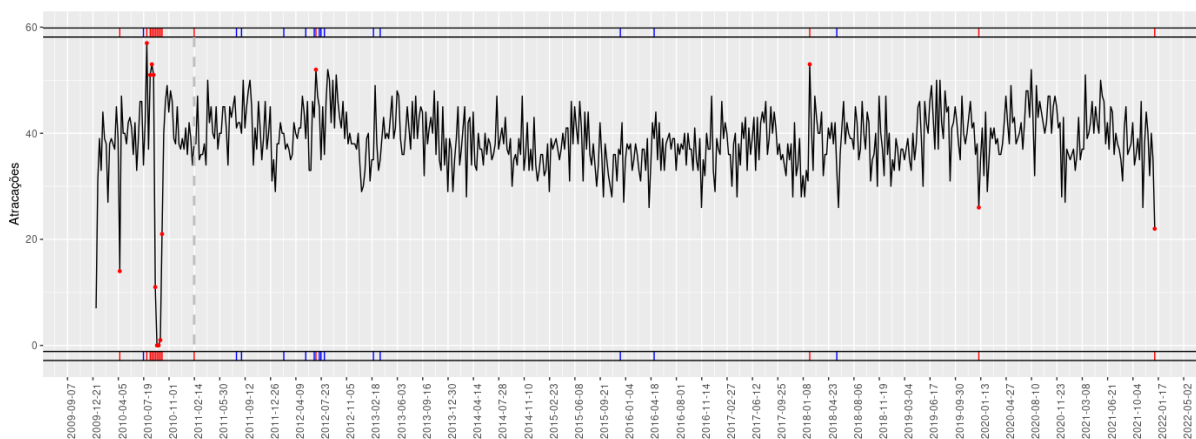


Figura 16: Eventos detectados na série temporal NAE do porto de Paranaguá.

Assim, foi possível observar, que grande parte das notícias identificadas ocorreram em pe-

ríodos bem próximos aos eventos detectados pelo *ensemble* na série temporal AAHA, porém a revocação das detecções foi bem baixa. Já para a série temporal NAE, as notícias identificadas ficaram mais distantes dos eventos detectados. Ademais, foram selecionados fatores associados ao aumento ou a diminuição dos atrasos nas atracações no porto de Paranaguá, onde a falta de infraestrutura contra eventos climáticos, aumento na movimentação de cargas e greves institucionais, foram os principais fatores identificados neste porto.

5.4.3 Porto de Santos

Buscando analisar o porto de Santos, a Figura 17 apresenta a série temporal AAHA do porto de Santos, contendo os eventos detectados pelo *ensemble*. Na figura, pode-se observar que o porto de Santos apresenta alta oscilação nos atrasos, porém a quantidade de detecções foi inferior aos demais portos analisados. Visando realizar análises no período de 2010, no dia 20 de julho de 2010, foi identificado um apagão logístico no porto de Santos, pois, ocorreu uma grande venda de açúcar neste período, que ultrapassou o limite operacional do porto, gerando alto volume de atrasos nas atracações, onde as embarcações estavam levando cerca de 40 dias para atracar e dar início às suas operações [Navios, 2010c]. Além do alto acúmulo de atrasos neste período, foi estimado o custo de 45 mil reais por dia para cada embarcação que ficasse aguardando para atracar no porto [Navios, 2010c].

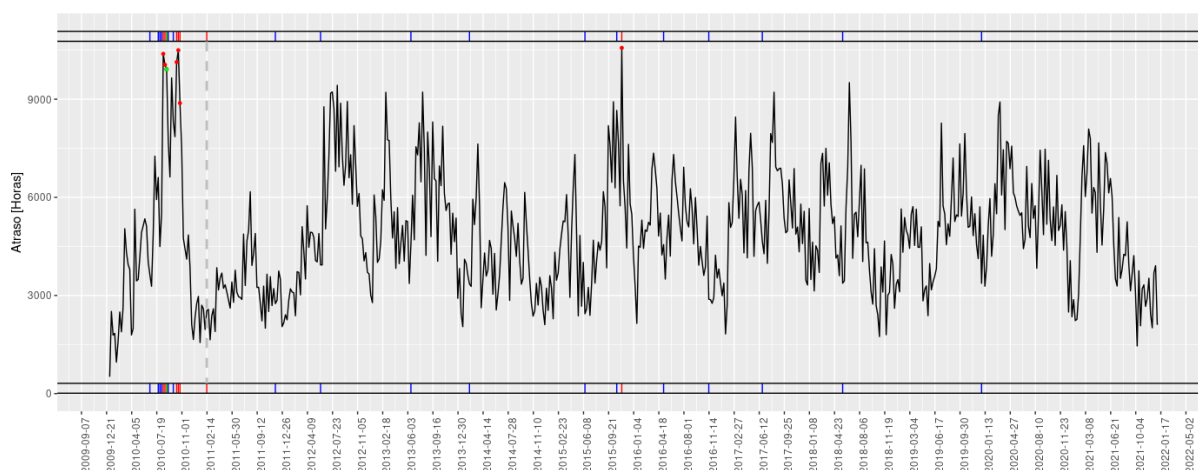


Figura 17: Eventos detectados na série temporal AAHA do porto de Santos.

Já no dia 28 de julho de 2010, o porto de Santos não estava conseguindo atender a quantidade de navios que chegavam durante este período. Assim, foi registrada uma fila de pelo menos 50 embarcações, que estavam aguardando para atracar no porto de Santos e dar início às

operações. Neste mesmo período, o porto tinha 70% das operações focadas na exportação de açúcar, alcançando a marca histórica de 16,9 toneladas de açúcar exportados [Navios, 2010d]. Além do grande volume de embarcações chegando no porto de Santos e o alto volume de atrasos nas atracações, no dia 02 de agosto de 2010, as operações sofreram com as fortes chuvas, intensificando ainda mais os congestionamentos. A fila para atracação já chegava a 98 embarcações, com uma previsão de congestionamento até o mês de setembro de 2010 [Navios, 2010a]. Pode-se observar na Figura 17, que o volume no acúmulo de atrasos só começou a reduzir próximo ao final do ano de 2010, conforme a previsão.

No dia 21 de outubro de 2015, foram registrados atrasos nas atracações, pois, o sistema da Anvisa apresentava com problemas. Assim, não era possível realizar a liberação das embarcações para dar início às operações, gerando um enorme congestionamento no período. Logo, pode-se observar que no início de 2016, foi detectado um evento de anomalia de tendência, bem próximo ao problema identificado pela Anvisa. Além deste fato, não foram identificadas outras notícias em um período mais próximo ao evento detectado em 2016.

Na Figura 18 é apresentado a série temporal NAE com as detecções dos eventos pelo *ensemble*. Estas detecções foram realizadas com o objetivo de aumentar a precisão dos métodos em detectar eventos relevantes, através da correlação entre os eventos detectados nas Figuras 17 e 18. Neste sentido, pode-se observar alguns eventos detectados no período de 2010 que podem estar relacionados ao momento em que o porto de Santos sofreu um apagão logístico, devido a uma grande venda de açúcar. Ademais, foram detectados outros pontos, porém não estão relacionados entre as duas séries temporais.

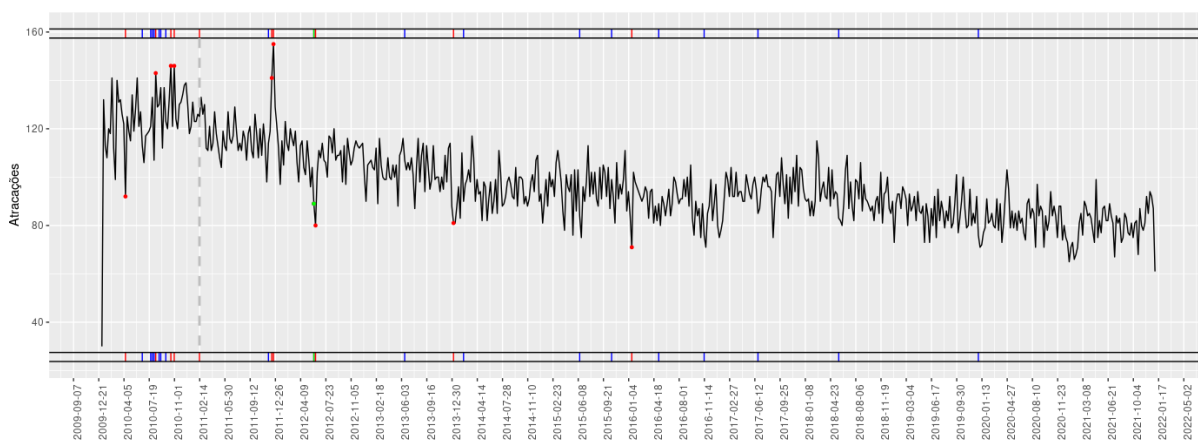


Figura 18: Eventos detectados na série temporal NAE do porto de Santos.

Assim, grande parte das notícias identificadas do porto de Santos, ocorreram em períodos muito próximos aos eventos detectados pelo *ensemble* na série temporal AAHA, porém a revo-

cação foi baixa. Visando a série temporal NAE, as notícias identificadas ficaram mais distantes dos eventos detectados, em comparação com a série temporal AAHA. Em seguida, foram selecionados os fatores relacionados ao aumento ou a diminuição dos atrasos nas atracções no porto de Santos, onde os problemas operacionais e a falta de infraestrutura para atender as operações e suportar mudanças climáticas, foram os principais fatores identificados que estão associados as variações no acúmulo de atrasos nas atracções neste porto.

Capítulo 6

Conclusão

Nesta monografia, foi proposta uma metodologia para detectar eventos nas séries temporais dos principais portos brasileiros, visando identificar a revocação dos métodos implementados pelo *framework Harbinger* e os principais fatores que estão relacionados ao aumento ou a diminuição dos atrasos nas atracações. Assim, foi necessário realizar a extração e o tratamento dos dados disponibilizados pela ANTAQ, com a finalidade de construir os *datasets* semanais, que foram utilizados como base para gerar as séries temporais. Após a construção dos *datasets*, foram desenvolvidos *rankings*, que identificaram os maiores portos em acúmulo de atrasos e número de atracações efetuadas ao longo de 2010 a 2021.

Em seguida, foi realizada a etapa da análise exploratória, visando identificar e selecionar os principais portos brasileiros que foram analisados ao longo deste trabalho. Após a análise exploratória, foram definidos como os principais portos a serem analisados, Tubarão, Paranaguá e Santos. Posteriormente, foi realizada uma análise quantitativa, onde foi possível observar quantos eventos foram detectados por cada método, as avaliações de cada um dos métodos para as séries temporais NAE e AAHA dos portos analisados e o tempo decorrido para a detecção dos eventos.

Adiante, foi abordado a análise qualitativa, onde foram observados os eventos detectados pelo *ensemble* nas séries temporais AAHA e NAE. Após as análises, os resultados obtidos indicam que os eventos detectados pelo *ensemble* na série temporal AAHA, estão bem próximos as notícias mais relevantes. Além da revocação e precisão, também foram selecionados os fatores associados ao aumento ou a diminuição dos atrasos nas atracações, sendo a falta de infraestrutura, mudanças climáticas, greves institucionais e desastres ambientais, os principais fatores identificados.

Os resultados apresentados apontam a necessidade de trabalhos futuros, onde sejam realizadas adaptações ou ajustes nos métodos de detecção de eventos, visando uma maior revocação e precisão das detecções. Este ajuste é necessário, pois, alguns métodos tiveram uma revocação superior a 80%, porém a precisão ficou abaixo de 20%. Além disso, é possível incluir análises que abordem o volume de cargas transportadas e tempo de operação dos navios nos

portos, pois, são indicadores que também estão associados aos congestionamentos. Ainda sobre trabalhos futuros, considera-se uma abordagem que realiza a otimização nas atracações das embarcações aos portos brasileiros. Assim, espera-se que os portos tenham maior eficiência em suas operações, visando a redução nos custos causados por estes atrasos, e consequentemente aumentem a competitividade na exportação e importação dos produtos brasileiros.

Referências Bibliográficas

- Aminikhanghahi, S. and Cook, D. A survey of methods for time series change point detection. *Knowledge and Information Systems*, 51(2):339–367, 2017.
- ANTAQ. Boletim Aquaviário 2020. Technical report, <http://sophia.antaq.gov.br/terminal/Resultado/Listar?guid=427c80d253af7e93b8bf>, 2020a.
- ANTAQ. Competências. Technical report, https://www.gov.br/antaq/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/copy_of_competencias, 2020b.
- ANTAQ. Boletim Aquaviário 2021. Technical report, <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/boletim-aquaviario>, 2021a.
- ANTAQ. Relatório de Gestão. Technical report, https://www.gov.br/antaq/pt-br/acesso-a-informacao/prestacao_de_contas/relatorio-de-gestao/prestacao_de_contas_antaq, 2021b.
- Carmona, R. *Statistical Analysis of Financial Data in R*. Springer Science & Business Media, 2013.
- Chen, H. and Zhang, N. Graph-based change-point detection. *Annals of Statistics*, 43(1):139–176, 2015.
- Gupta, M., Gao, J., Aggarwal, C., and Han, J. Outlier Detection for Temporal Data: A Survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 26(9):2250–2267, 2014.
- Guralnik, V. and Srivastava, J. Event Detection from Time Series Data. In *Proceedings of the Fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '99, pages 33–42, New York, NY, USA. ACM, 1999.
- Han, J., Kamber, M., and Pei, J. *Data Mining: Concepts and Techniques*, 2012.
- Lacerda, S. M. Navegação de cabotagem: regulação ou politica industrial? *BNDES Setorial*, 2004a.
- Lacerda, S. M. Transporte marítimo de longo curso no Brasil e no mundo. *BNDES Setorial*, 2004b.

- Lima, J., Alpis, P., Salles, R., Escobar, L., Porto, F., Pacitti, E., Coutinho, R., and Ogasawara, E. Forward and Backward Inertial Anomaly Detector: A Novel Time Series Event Detection Method. In *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, volume 2022-July, 2022.
- Massa. A história do porto de Paranaguá e a sua situação atual. Technical report, <https://massa.ind.br/historia-do-porto-de-paranagua>, 2022.
- Mendes, A. P. d. A., Teixeira, C. A. N., Rocio, M. A. R., and Oliveira, L. A. S. d. Rebocadores portuários e marítimos. *BNDES Setorial*, 2017.
- Moini, N., Boile, M., Theofanis, S., and Laventhal, W. Estimating the determinant factors of container dwell times at seaports. *Maritime Economics and Logistics*, 14(2):162–177, 2012.
- Multimodal, M. P. Congestionamento nos Portos Brasileiros: Entenda os Motivos. Technical report, <https://marcopolomultimodal.com.br/congestionamento-nos-portos-brasileiros-entenda-os-motivos/>, 2021.
- Navios, P. e. Chuva atrasa embarque de açúcar no Porto de Santos. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/chuva-atrasa-embarque-de-acucar-no-porto-de-santos>, 2010a.
- Navios, P. e. Ibama interdita porto de Paranaguá, o segundo maior do país. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/ibama-interdita-porto-de-paranagua-o-segundo-maior-do-pais>, 2010b.
- Navios, P. e. Navios levam 40 dias para atracar no Porto de Santos. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/navios-levam-40-dias-para-atracar-no-porto-de-santos>, 2010c.
- Navios, P. e. Porto de Santos tem fila de 53 navios para embarcar açúcar. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-santos-tem-fila-de-53-navios-para-embarcar-acucar>, 2010d.
- Navios, P. e. Ainda há fila de caminhões para descarregar no porto de Paranaguá. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/ainda-ha-fila-de-caminhoes-para-descarregar-no-porto-de-paranagua>, 2011a.

- Navios, P. e. Movimento no Paranaguá tem aumento significativo. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/movimento-no-paranagua-tem-aumento-significativo>, 2011b.
- Navios, P. e. Porto de Paranaguá volta a exportar soja paraguaia. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-paranagua-volta-a-exportar-soja-paraguaia-26082011-1630>, 2011c.
- Navios, P. e. Greve da Anvisa prejudica operações no Porto de Paranaguá. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/greve-da-anvisa-prejudica-operacoes-no-porto-de-paranagua>, 2012a.
- Navios, P. e. Mau tempo e grande procura afetam operação de navios em Paranaguá. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/mau-tempo-e-grande-procura-afetam-operacao-de-navios-em-paranagua>, 2012b.
- Navios, P. e. Paranaguá registra 100 navios na fila de espera. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/paranagua-registra-100-navios-na-fila-de-espera>, 2013.
- Navios, P. e. Porto da Vale em Vitória é interditado por suspeita de crime ambiental. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-da-vale-em-vitoria-e-interditado-por-suspeita-de-crime-ambiental>, 2016a.
- Navios, P. e. Porto de Paranaguá bate recorde de movimentação total de cargas. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-paranagua-bate-recorde-de-movimentacao-total-de-cargas>, 2016b.
- Navios, P. e. Vale faz melhorias no complexo portuário de Tubarão. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/vale-faz-melhorias-no-complexo-portuario-de-tubarao>, 2016c.
- Navios, P. e. Dados de embarques sinalizam oferta apertada de minério de ferro. Technical report, <https://www.portosenavios.com.br/noticias/geral/dados-de-embarques-sinalizam-oferta-apertada-de-minerio-de-ferro>, 2019.

- News, D. Atrasos em portos. Technical report, <https://www.douradosnews.com.br/noticias/atrasos-em-portos-custam-us-1-2-bi-ao-pais-48d24fda39fce3f8fa5e4cdad35/224332/>, 2005.
- Nwokedi, T., Ndikom, O., Okoroji, L., and Nwaorgu, J. Determinant Port-related Factors Affecting the Flow of Shipping Trade and Logistics in Nigerian Seaports. *LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics*, 12(1):261–270, 2021.
- Rodrigues, V., Morabito, R., Yamashita, D., Da Silva, B., and Ribas, P. Optimization approaches to a routing and scheduling problem of oil tankers. *Gestao e Producao*, 24(4):790–805, 2017.
- Salles, R., Escobar, L., Baroni, L., Zorrilla, R., Ziviani, A., Kreischer, V., Delicato, F., Pires, P. F., Maia, L., Coutinho, R., Assis, L., and Ogasawara, E. Harbinger: Um framework para integração e análise de métodos de detecção de eventos em séries temporais. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Banco de Dados (SBBD)*, pages 73–84. SBC, 2020.
- Saraceni, P. P. *Transporte marítimo de petróleo e derivados*. Interciência, 2^a edição edition, 2012.
- Shumway, R. H. and Stoffer, D. S. *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. Springer, 2017.
- Simões, P. and Marques, R. Influence of congestion efficiency on the european seaports performance: Does it matter? *Transport Reviews*, 30(4):517–539, 2010.
- Smith, D. Big data insights into container vessel dwell times. *Transportation Research Record*, 2675(10):1222–1235, 2021.
- Takeuchi, J.-I. and Yamanishi, K. A unifying framework for detecting outliers and change points from time series. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 18(4):482–492, 2006.
- Tapsai, C. Information processing and retrieval from CSV file by natural language. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Communication and Information Systems, ICCIS 2018*, pages 212–216, 2019.
- Teixeira, C. A. N., Rocio, M. A. R., Mendes, A. P. d. A., and Oliveira, L. A. S. d. Navegação interior brasileira. *BNDES Setorial*, 2018.

- Vale. Operações serão normalizadas no Porto de Tubarão. Technical report, <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/operacoes-serao-normalizadas-porto-tubarao.aspx>, 2016a.
- Vale. Vale inicia fechamento do transportador de correias no Porto de Tubarão. Technical report, <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-inicia-fechamento-transportador-correias-porto-tubarao.aspx>, 2016b.
- Vale. Obra de fechamento do principal transportador de minério de Tubarão é concluída. Technical report, <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/obra-fechamento-principal-transportador-minerio-tubarao-conclu%C3%ADda.aspx>, 2017.
- Vale. Vale informa sobre rompimento de barragem em Brumadinho, Minas Gerais. Technical report, <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Nota.aspx>, 2019.
- Vassiliadis, P., Simitsis, A., and Skiadopoulos, S. Conceptual modeling for ETL processes. In *ACM International Workshop on Data Warehousing and OLAP (DOLAP)*, pages 14–21, 2002.
- Zhu, Z. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130:370–384, 2017.

Apêndice 1

Terminal de Tubarão

Porto de Paranaguá

Porto de Santos

Tabela 12: Notícias do Terminal de Tubarão.

Data	Link
22/01/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-da-vale-em-vitoria-e-interditado-por-suspeita-de-crime-ambiental
25/01/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/vale-consegue-eliminar-para-operar-tubarao
26/01/2016	http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/operacoes-serao-normalizadas-porto-tubarao.aspx
26/03/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/vale-faz-melhorias-no-complexo-portuario-de-tubarao
10/06/2016	http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-inicia-fechamento-transportador-correias-porto-tubarao.aspx
06/01/2017	http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/obra-fechamento-principal-transportador-minerio-tubarao-conclu%C3%ADda.aspx
25/01/2019	http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Nota.aspx
27/03/2019	https://www.portosenavios.com.br/noticias/geral/com-tragedia-de-brumadinho-industria-mineira-ja-ve-risco-de-falta-de-minerio-de-ferro-em-60-dias
10/04/2019	https://www.portosenavios.com.br/noticias/geral/dados-de-embarques-sinalizam-oferta-apertada-de-minerio-de-ferro
08/06/2020	https://www.portosenavios.com.br/noticias/geral/covid-19-traz-desafio-a-meta-de-producao-da-vale-e-sustenta-aumento-de-preco-do-minerio-de-ferro

Tabela 13: Notícias do Porto de Paranaguá.

Data	Link
14/07/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/ibama-interdita-porto-de-paranagua-o-segundo-maior-do-pais
02/08/2011	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/movimento-no-paranagua-tem-aumento-significativo
03/08/2011	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/ainda-ha-fila-de-caminhoes-para-descarregar-no-porto-de-paranagua
28/08/2011	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-paranagua-volta-a-exportar-soja-paraguaia-26082011-1630
17/02/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/protesto-de-estivadores-paralisa-brevemente-porto-de-paranagua
14/05/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/gargalos-portos-ruins-atrasam-exportacoes-de-graos-do-brasil
22/06/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/mau-tempo-e-grande-procura-afetam-operacao-de-navios-em-paranagua
12/07/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/cresce-a-fila-de-navios-em-paranagua
19/07/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/greve-da-anvisa-prejudica-operacoes-no-porto-de-paranagua
03/08/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/fila-no-porto-se-mantem-com-128-navios
22/02/2013	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/paralisacao-de-trabalhadores-interrompe-carregamentos-nos-portos-paranaenses
20/03/2013	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/paranagua-registra-100-navios-na-fila-de-espera
09/12/2015	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/chuvas-travam-porto-de-paranagua-e-atrasam-exportacao
28/04/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-paranagua-bate-recorde-de-movimentacao-total-de-cargas
23/05/2018	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-paranagua-e-o-mais-atingido-pela-paralisacao-de-caminhoneiros

Tabela 14: Notícias do Porto de Santos.

Data	Link
18/06/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-santos-volta-a-ficar-congestionado
20/07/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/navios-levam-40-dias-para-atracar-no-porto-de-santos
28/07/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-santos-tem-fila-de-53-navios-para-embarcar-acucar
01/08/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/exportacao-lota-portos-de-paranagua-e-santos
02/08/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/chuva-atrasa-embarque-de-acucar-no-porto-de-santos
26/08/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/fila-no-porto-de-santos
27/08/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/fila-de-embarque-do-acucarno-porto-de-santos-vai-ate-setembro
31/08/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/embarque-no-porto-de-santos-demora-o-triplo-e-cause-fila-de-navios
21/09/2010	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/acucar-provoca-mais-filas-e-atrasos-no-porto-de-santos
22/11/2011	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/greve-no-porto-de-santos-afeta-pelo-menos-15-navios
30/05/2012	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/portuarios-de-santos-param-contra-escala-eletronica
10/06/2013	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/estivadores-fazem-paralisacao-no-porto-de-santos
12/02/2014	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-de-santos-volta-a-registrar-congestionamento
08/06/2015	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/estivadores-anunciam-nova-paralisacao-no-porto-de-santos
21/10/2015	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/agentes-maritimos-denunciam-atrasos-em-atracacoes-no-porto
02/05/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/ressaca-faz-porto-de-santos-ter-prejuizo-de-r-3-5-milhoes
09/11/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/greve-de-auditoes-no-porto-de-santos-afeta-arrecadacao-de-r-1-bilhao
10/11/2016	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/problema-em-sistema-da-anvisa-atrasa-pelo-menos-30-atracacoes-no-porto-de-santos
19/06/2017	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/atrasos-no-abastecimento-de-navios-no-porto-geram-prejuizos
23/05/2018	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/estivadores-de-santos-apoiam-caminhoneiros-e-anunciam-paralisacao
29/12/2019	https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/atrasos-em-sistema-da-anvisa-geram-prejuizos-ao-porto-de-santos