

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

PROJETO DE CANAL LOGÍSTICO

DJONATHAN LUIZ DE OLIVEIRA QUADRAS  
MARCUS GIOVANI FRIGHETTO  
GABRIEL GARCIA NANDI  
LUCCA MAGRI ZAGHI  
RODRIGO CLARINDO DA SILVEIRA

FLORIANÓPOLIS  
2021

## RESUMO

Resumo

**Keywords:** Logística

# Lista de Figuras

1	Histório do produto MO0021 em São Paulo . . . . .	11
2	Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo . . . . .	12
3	Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo . . . . .	13
4	Previsão para o produto MO0021 em São Paulo . . . . .	14
5	Histório do produto MO0021 em Tocantins . . . . .	14
6	Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins . . . . .	15
7	Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins . . . . .	16
8	Previsão para o produto MO0021 em Tocantins . . . . .	17
9	Histório do produto MO0021 no Amazonas . . . . .	17
10	Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas . . . . .	18
11	Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas . . . . .	19
12	Previsão para o produto MO0021 no Amazonas . . . . .	20
13	Histório do produto MO0091 em São Paulo . . . . .	20
14	Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo . . . . .	21
15	Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo . . . . .	22
16	Previsão para o produto MO0091 em São Paulo . . . . .	23
17	Histório do produto MO0091 em Tocantins . . . . .	23
18	Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins . . . . .	24
19	Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins . . . . .	25
20	Previsão para o produto MO0091 em Tocantins . . . . .	26
21	Histório do produto MO0091 no Amazonas . . . . .	26
22	Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas . . . . .	27
23	Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas . . . . .	28
24	Previsão para o produto MO0091 no Amazonas . . . . .	29
25	Histório do produto MO1401 em São Paulo . . . . .	29
26	Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo . . . . .	30
27	Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo . . . . .	31
28	Previsão para o produto MO1401 em São Paulo . . . . .	32
29	Histório do produto MO1401 em Tocantins . . . . .	32
30	Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins . . . . .	33
31	Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins . . . . .	34
32	Previsão para o produto MO1401 em Tocantins . . . . .	35
33	Histório do produto MO1401 no Amazonas . . . . .	35
34	Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas . . . . .	36
35	Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas . . . . .	37

36	Previsão para o produto MO1401 no Amazonas . . . . .	38
----	------------------------------------------------------	----

# Lista de Tabelas

1	Comparação entre os modelos . . . . .	12
2	Previsão de demanda do produto MO0021 para São Paulo . . . . .	13
3	Comparação entre os modelos . . . . .	15
4	Previsão de demanda do produto MO0021 para Tocantins . . . . .	16
5	Comparação entre os modelos . . . . .	18
6	Previsão de demanda do produto MO0021 para Amazonas . . . . .	19
7	Comparação entre os modelos . . . . .	21
8	Previsão de demanda do produto MO0091 para São Paulo . . . . .	22
9	Comparação entre os modelos . . . . .	24
10	Previsão de demanda do produto MO0091 para Tocantins . . . . .	25
11	Comparação entre os modelos . . . . .	27
12	Previsão de demanda do produto MO0091 para Amazonas . . . . .	28
13	Comparação entre os modelos . . . . .	30
14	Previsão de demanda do produto MO1401 para São Paulo . . . . .	31
15	Comparação entre os modelos . . . . .	33
16	Previsão de demanda do produto MO1401 para Tocantins . . . . .	34
17	Comparação entre os modelos . . . . .	36
18	Previsão de demanda do produto MO1401 para Amazonas . . . . .	37
19	Previsão de demanda final para o produto MO0021 . . . . .	38
20	Previsão de demanda final para o produto MO0091 . . . . .	39
21	Previsão de demanda final para o produto MO1401 . . . . .	39

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Revisão da Literatura</b>	<b>7</b>
2.1	Previsão de Demanda . . . . .	7
2.1.1	Suavização Exponencial (SE) . . . . .	7
2.1.2	Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis (ARIMA) .	8
2.1.3	Redes Neurais Artificiais (RNA) . . . . .	8
2.2	Algoritmo Genético (GA) . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Previsão de Demanda</b>	<b>11</b>
4.1	Produto MO0021 . . . . .	11
4.1.1	Centro de São Paulo . . . . .	11
4.1.2	Centro de Tocantins . . . . .	14
4.1.3	Centro do Amazonas . . . . .	17
4.2	Produto MO0091 . . . . .	20
4.2.1	Centro de São Paulo . . . . .	20
4.2.2	Centro de Tocantins . . . . .	23
4.2.3	Centro do Amazonas . . . . .	26
4.3	Produto MO1401 . . . . .	29
4.3.1	Centro de São Paulo . . . . .	29
4.3.2	Centro de Tocantins . . . . .	32
4.3.3	Centro do Amazonas . . . . .	35
4.4	Resultado Final . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Centro de Distribuição</b>	<b>40</b>
5.1	Modelagem Matemática . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>41</b>

# 1 Introdução

O trabalho vigente tem por objetivo estudar os dados históricos de demanda para traçar um modelo preditivo de demanda para os próximos períodos. Dentro deste estudo, serão abordados tópicos referentes às metodologias utilizadas para a previsão desta respectiva demanda, a qual foi desenhada e projetada dentro da linguagem de programação R. São abordados ao todo 3 produtos, cada qual com 3 destinos diferentes, sendo eles Tocantins, São Paulo e Amazonas e portanto, temos 9 previsões distintas para serem abordadas. Ao fim do estudo, traremos a conclusão de como a demanda se comporta dentro dos próximos períodos para cada um dos produtos e em cada um de seus respectivos destinos.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Previsão de Demanda

Dentro desta temática apresentaremos os métodos abordados para a realização do estudo de previsão de demanda para as 9 diferentes combinações existentes (Produtos x Localização). O estudo leva em consideração 3 métodos matemáticos diferentes para o modelo predictivo de demanda. São eles: Suavização Exponencial (SE), Arima e Redes Neurais Auto Regressivas (RNA).

#### 2.1.1 Suavização Exponencial (SE)

A suavização exponencial (SE) baseia os seus resultados de acordo com os acontecimentos passados, mas diferentemente de uma média móvel que considera os eventos passados isobáricos dentro do modelo preditivo, a SE não segue o mesmo efeito. A suavização passa a considerar que os eventos mais recentes e próximos têm maior peso dentro do modelo preditivo quando comparados com eventos mais distantes da série temporal, os quais decaem de forma exponencial da mais recente à mais distante observação (William J, 2011).

O método é um dos mais utilizados dentro da indústria para a predição de produtos e as suas respectivas demandas e a razão para tal é o baixo custo e simplicidade (Teixeira, 2004). Quando utilizamos este método, devemos ter ciência que o mesmo tem melhores resultados, ou seja, possui melhor ajustamento para séries que não possuem tendência ou sazonalidade.

O modelo foi proposto primeiramente por Robert Goodell Brown e a expressão que suporta a suavização exponencial é dada por:

$$\hat{P}_{t+1} = \alpha \hat{P}_t + (1 - \alpha) \hat{P}_t$$

O ponto  $\hat{P}_{t+1}$  é a próxima observação da demanda, é a constante que varia referente à suavização e seu valor está contido entre 0 e 1 e  $\hat{P}_t$  representa a mais recente observação da série. A Combinação dos valores dos referentes pesos de com os valores observados atuais  $\hat{P}_t$  geram as previsões para as próximas observações. Note que o valor de  $\alpha$  como constante é arbitrário e sua determinação pode ser realizada por diferentes métodos que minimizem os erros causados pela mesma (Métodos Estatísticos de Suavização Exponencial, 2012).



### 2.1.2 Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis (ARIMA)

Esta metodologia consiste em ajustar modelos autorregressivos integrados de médias móveis, ARIMA(p,d,q), a um conjunto de dados. Para a construção do modelo seguimos um algoritmo no qual a escolha da estrutura do modelo é baseado nos próprios dados. Podemos descrever o algoritmo através dos seguintes passos:

1. Considerar uma classe geral de modelos para a análise;
2. Identificar um modelo com base na análise de autocorrelações, autocorrelações parciais e outros critérios;
3. Estimar os parâmetros do modelo identificado; Verificar se o modelo ajustado é adequado aos dados através de uma análise de resíduos.
4. Caso o modelo não seja adequado o algoritmo é repetido, voltando à fase de identificação.
5. Existem vários critérios para identificação de um modelo, por isso, é possível identificar modelos diferentes dependendo do critério que foi escolhido para identificação.

**2.1.2.1 Modelos Autorregressivos (AR)** Dizemos que o modelo  $X_t$ ,  $t$  pertencente a  $\mathbb{Z}$  é um modelo autoregressivo de ordem  $p$  e escrevemos  $X_t \cong AR(p)$  se pudermos escrever da forma:

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t$$

Onde  $\phi_0$ ,  $\phi_1$  e  $\phi_t$  são parâmetros reais, e  $\epsilon_t$  são variáveis independentes aleatórias com  $E(\epsilon_t) = 0$  e  $VAR(\epsilon_t) = \sigma^2$ .

**2.1.2.2 Modelos de médias móveis (MA).** Consiste em um modelo de médias móveis de ordem  $p$  e  $q$ , representado por:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q}$$

Um processo de  $MA(p, q)$  tem função de autocovariância infinita, decaindo de acordo com exponenciais ou senóides amortecidas após o lag  $p - q$ .

### 2.1.3 Redes Neurais Artificiais (RNA)

Funcionam analogamente ao cérebro e neurônios, tentando entender padrões e regularidades. Uma de suas vantagens é a aproximação de séries temporais não lineares

(Kashei ; Bijari 2010; Zhang 2003).

Modelo descrito por três camadas, entrada, saída e escondida. Os neurônios nestas camadas só se conectam com as camadas subsequentes. A camada escondida necessita ser definida, se for muito grande estará memorizando os padrões assim perdendo capacidade de generalização, se muito pequena necessita de muitas interações, por consequência força computacional para chegar a precisão desejada. (FERNANDES, L. G.; PORTUGAL, M. S.; NAVAUX, P. O).

Para o sucesso da previsão é necessário dividir as amostras em pares de treinamento e teste e assim avaliar a camada oculta.

## **2.2 Algoritmo Genético (GA)**

Revisão acerca de algoritmo genético.

### 3 Metodologia

## 4 Previsão de Demanda

A previsão de demanda irá isolar os produtos para realizar as previsões de forma isolada. Assim, essa seção será dividida entre os produtos MO0021, MO0091 e MO1401.

### 4.1 Produto MO0021

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

#### 4.1.1 Centro de São Paulo

A Figura 1 apresenta o histórico de vendas para este centro.

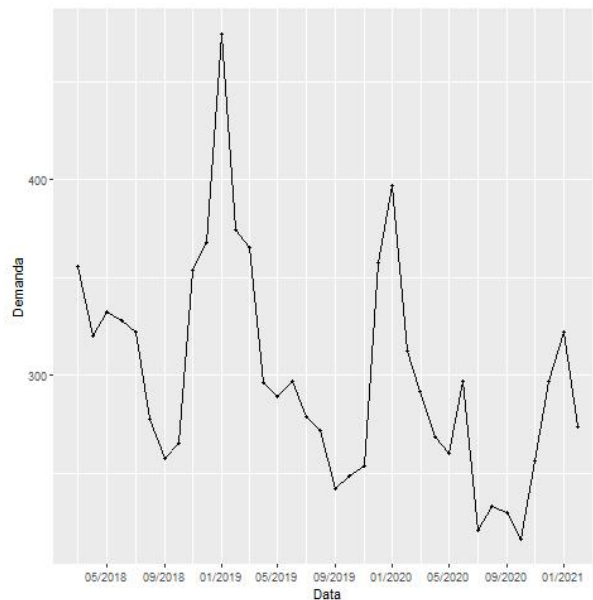


Figura 1: Histórico do produto MO0021 em São Paulo

A Figura 2 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

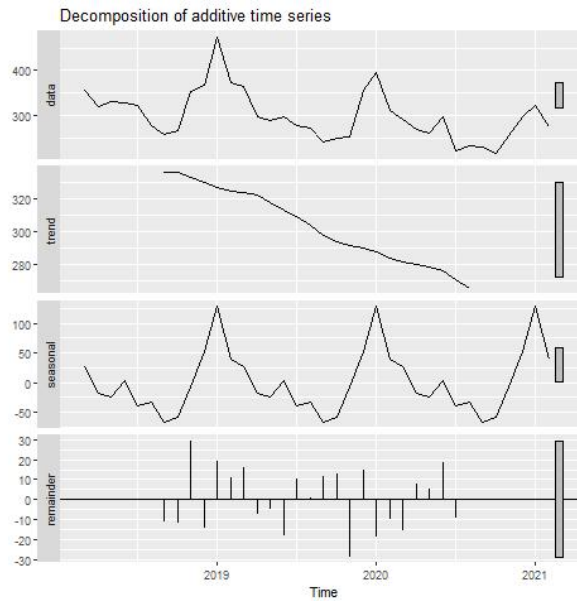


Figura 2: Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	3.98	5.37	4.45

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 3 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

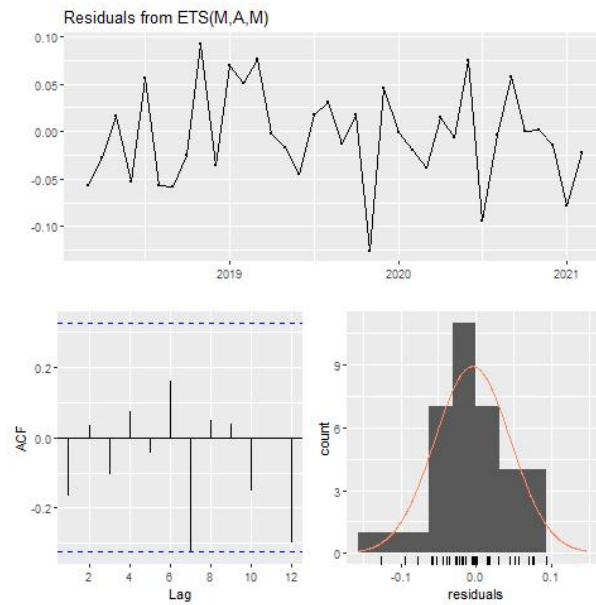


Figura 3: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo

A Tabela 2 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 2: Previsão de demanda do produto MO0021 para São Paulo

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
265.82	231.47	228.68	240.97	211.92	203.22	188.37	186.82	221.32	259.74

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 4.

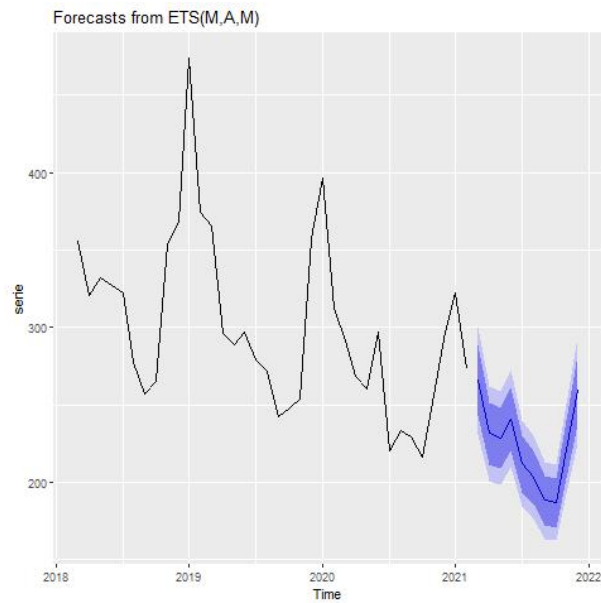


Figura 4: Previsão para o produto MO0021 em São Paulo

#### 4.1.2 Centro de Tocantins

A Figura 5 apresenta o histórico de vendas para este centro.

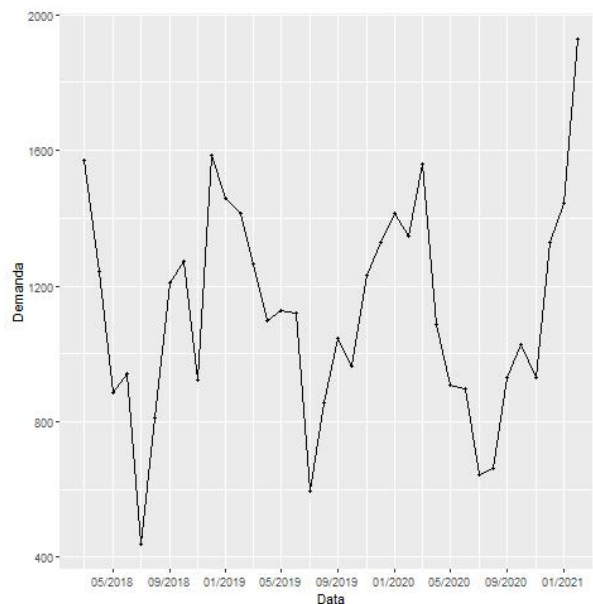


Figura 5: Histórico do produto MO0021 em Tocantins

A Figura 6 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (diminuição da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

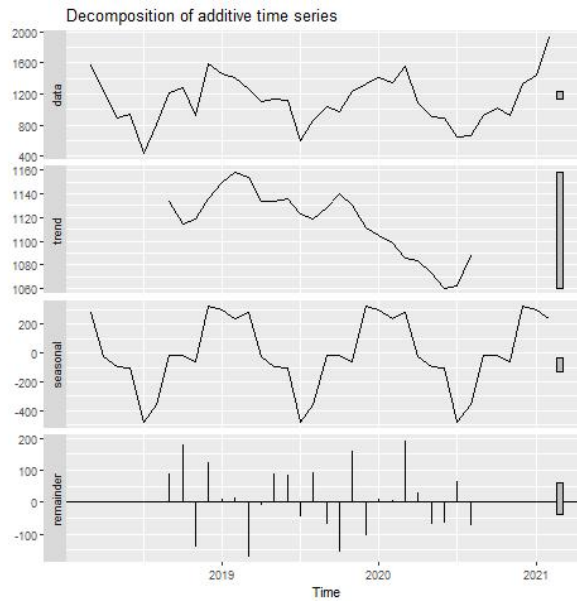


Figura 6: Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	10.67	11.05	7.67

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 3 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.



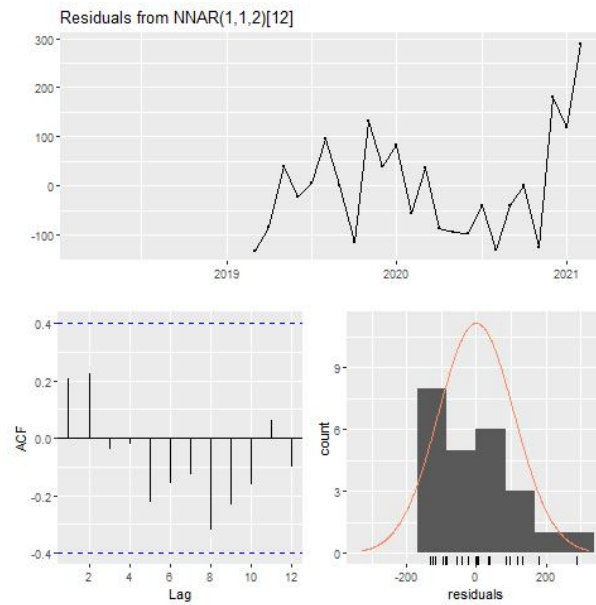


Figura 7: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins

A Tabela 4 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 4: Previsão de demanda do produto MO0021 para Tocantins

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
1529.16	1154.44	1087.16	1100.13	599.7	864.91	897.91	947.19	1103.71	1175.16

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 8.

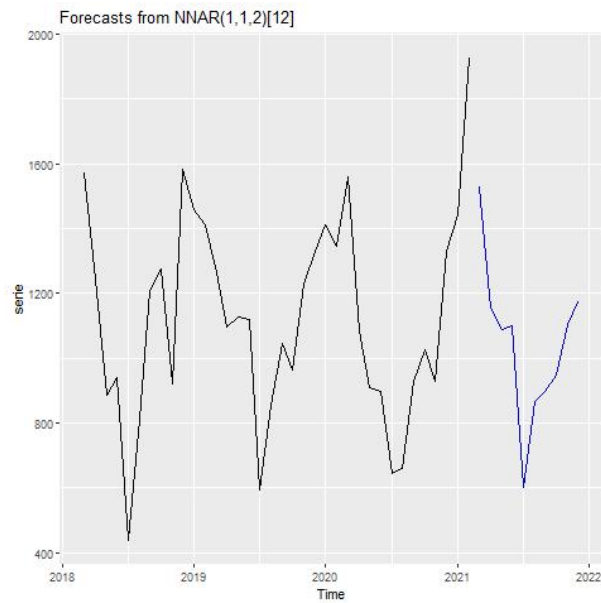


Figura 8: Previsão para o produto MO0021 em Tocantins

#### 4.1.3 Centro do Amazonas

A Figura 9 apresenta o histórico de vendas para este centro.

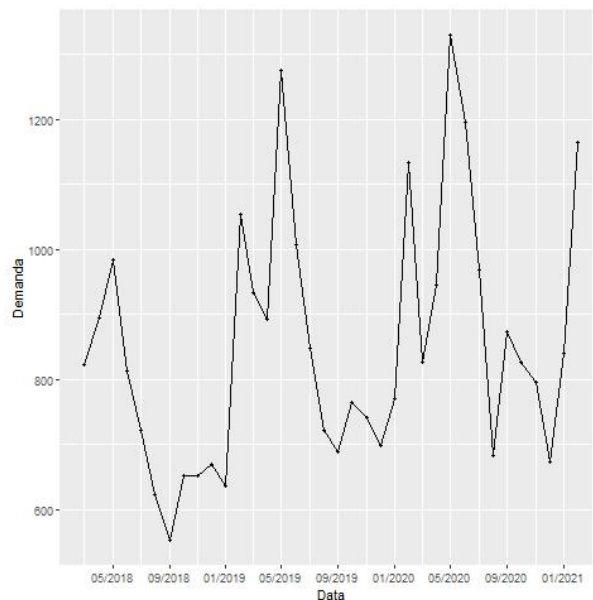


Figura 9: Histórico do produto MO0021 no Amazonas

A Figura 10 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

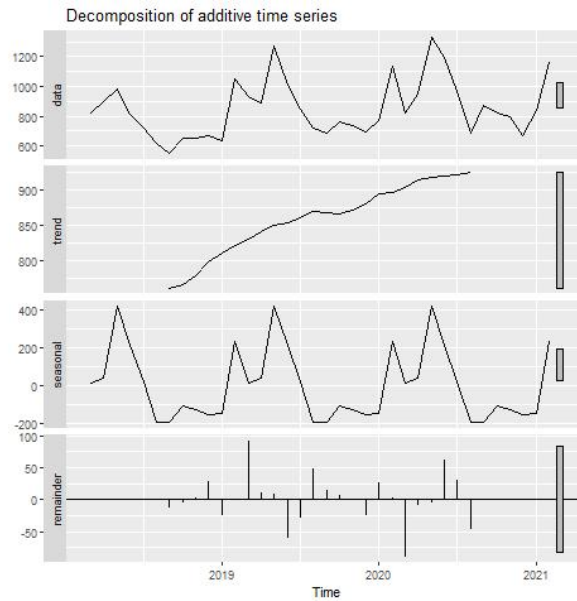


Figura 10: Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	6.32	4.84	5.27

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o ARIMA. Ademais, a Figura 11 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

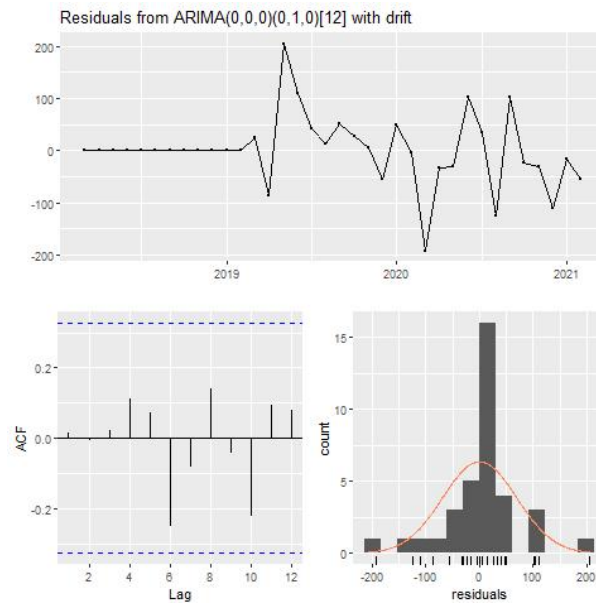


Figura 11: Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas

A Tabela 6 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 6: Previsão de demanda do produto MO0021 para Amazonas

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
910.99	1030.59	1414.69	1281.29	1053.59	768.39	959.29	910.99	881.09	759.19

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 12.

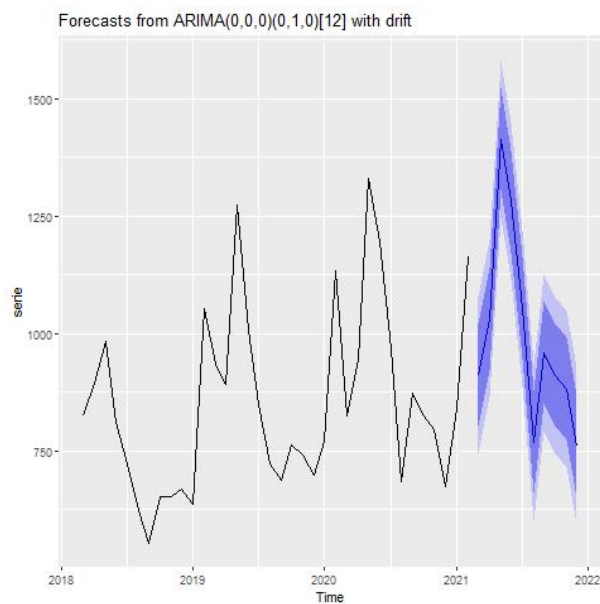


Figura 12: Previsão para o produto MO0021 no Amazonas

## 4.2 Produto MO0091

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

### 4.2.1 Centro de São Paulo

A Figura 13 apresenta o histórico de vendas para este centro.

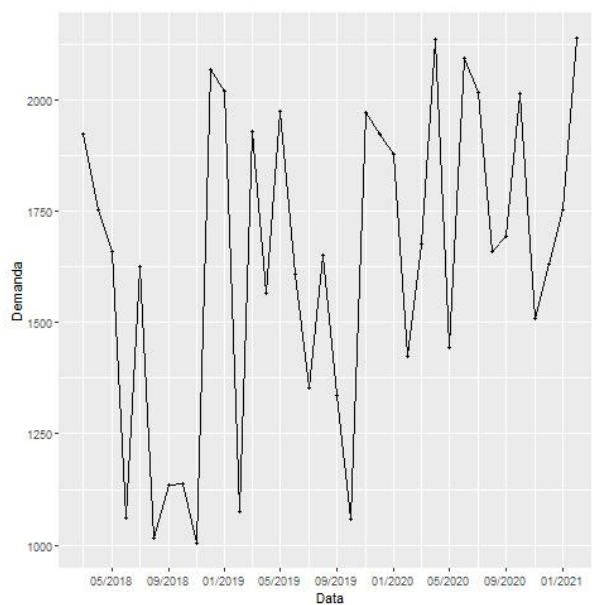


Figura 13: Histórico do produto MO0091 em São Paulo

A Figura 14 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

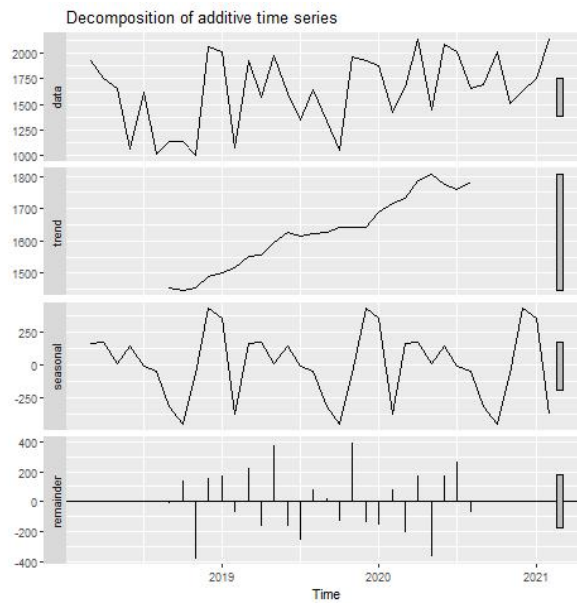


Figura 14: Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	20.01	19.23	9.71

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 15 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

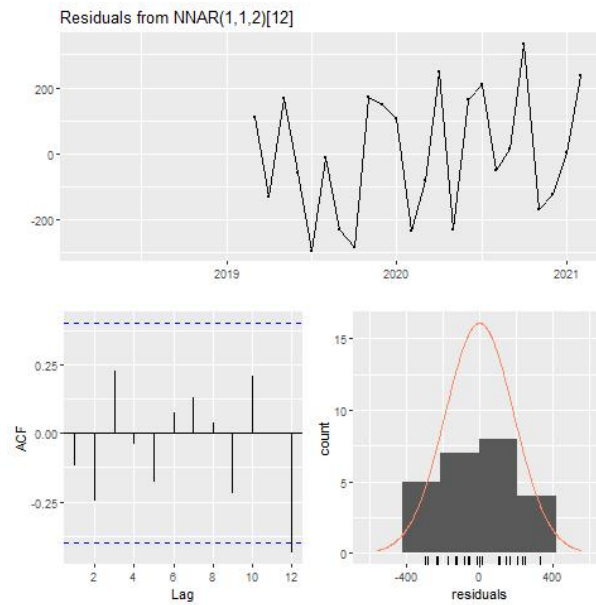


Figura 15: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo

A Tabela 8 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 8: Previsão de demanda do produto MO0091 para São Paulo

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
1707.47	1805.21	1935.46	1635.11	1748.74	1789.52	1749.05	1884.46	1749.41	1778.59

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 16.

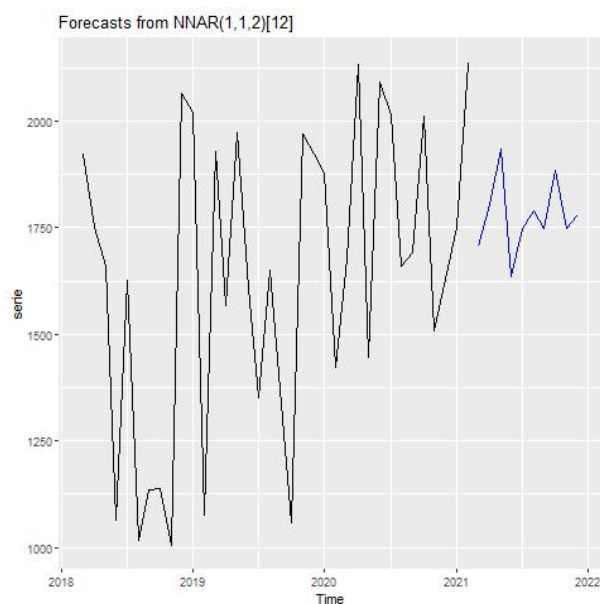


Figura 16: Previsão para o produto MO0091 em São Paulo

#### 4.2.2 Centro de Tocantins

A Figura 17 apresenta o histórico de vendas para este centro.

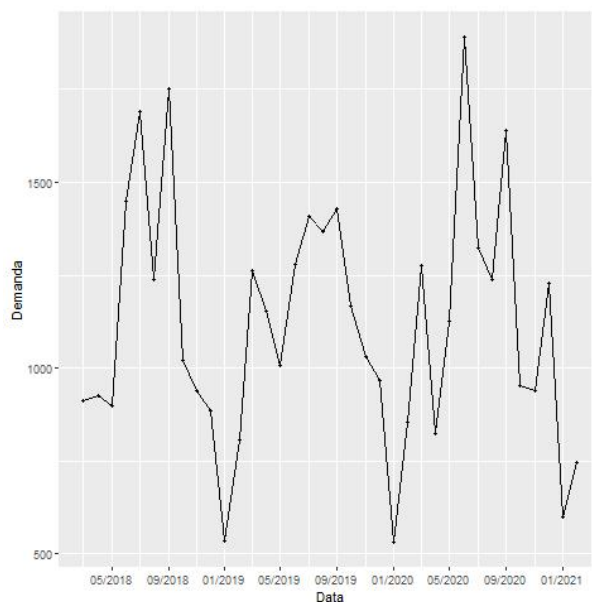


Figura 17: Histórico do produto MO0091 em Tocantins

A Figura 18 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência positiva (aumento da demanda



ao longo do tempo), sendo predominantemente linear, com uma sazonalidade bastante clara.

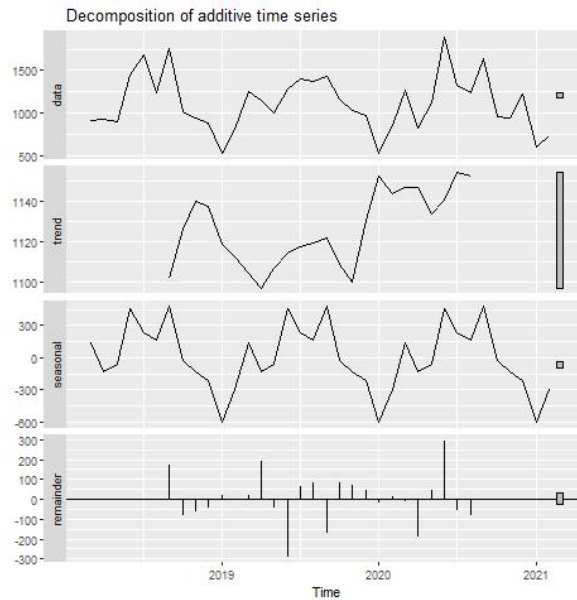


Figura 18: Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	9.15	9.86	9.83

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 15 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

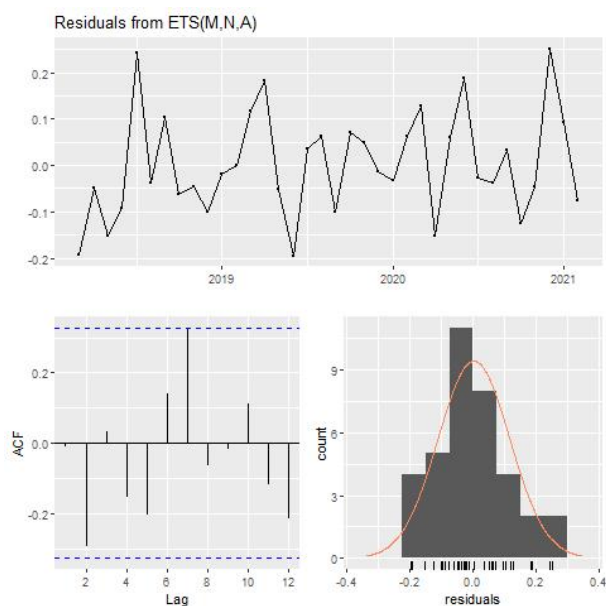


Figura 19: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins

A Tabela 10 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 10: Previsão de demanda do produto MO0091 para Tocantins

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
1129.11	974.03	1061.11	1592.61	1359.4	1285.07	1587.77	1088.8	984.45	980.72

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 20.

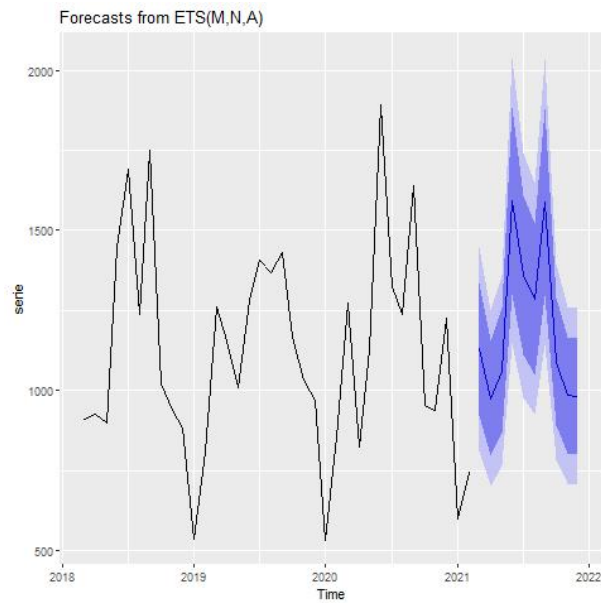


Figura 20: Previsão para o produto MO0091 em Tocantins

#### 4.2.3 Centro do Amazonas

A Figura 21 apresenta o histórico de vendas para este centro.

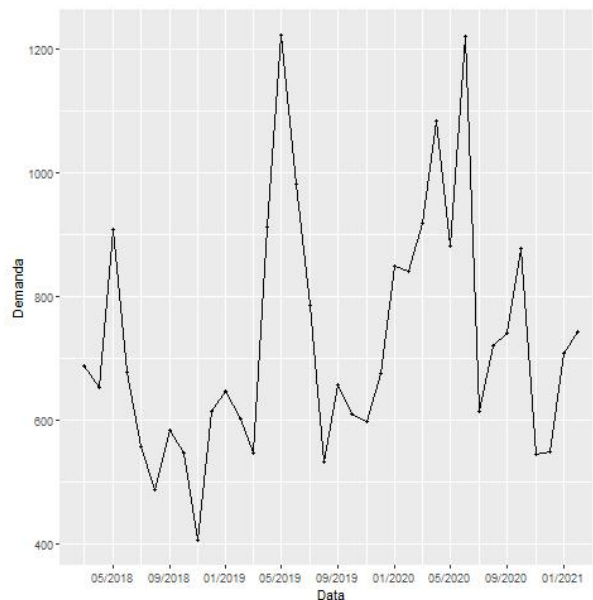


Figura 21: Histórico do produto MO0091 no Amazonas

A Figura 22 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

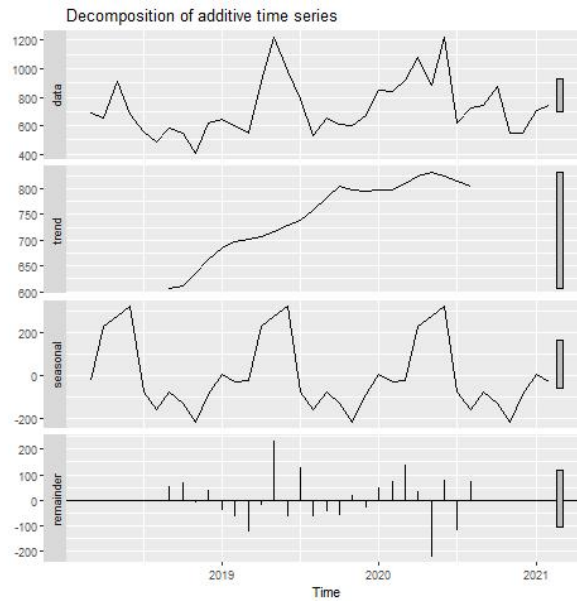


Figura 22: Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	20.03	11.24	11.5

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 23 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

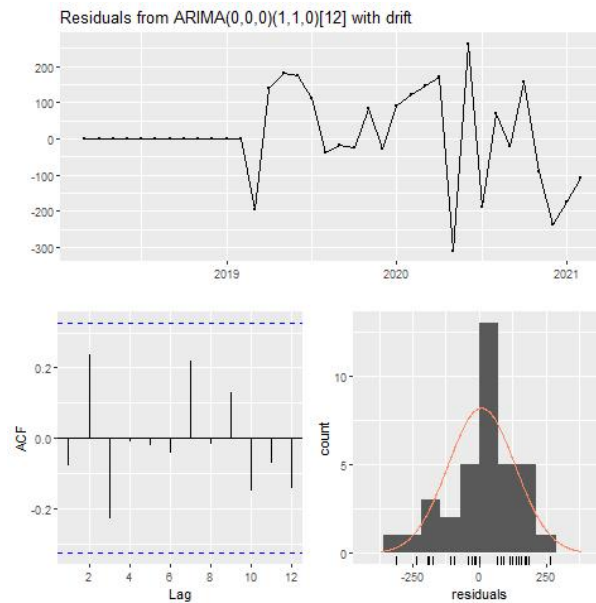


Figura 23: Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas

A Tabela 12 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 12: Previsão de demanda do produto MO0091 para Amazonas

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
857.01	1132.82	1214.56	1231.73	852.98	760.45	839.24	873.1	717.42	763.12

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 24.

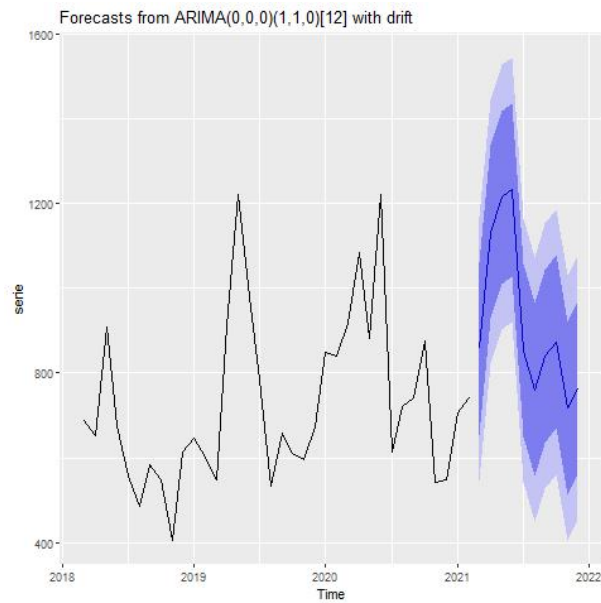


Figura 24: Previsão para o produto MO0091 no Amazonas

### 4.3 Produto MO1401

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

#### 4.3.1 Centro de São Paulo

A Figura 25 apresenta o histórico de vendas para este centro.

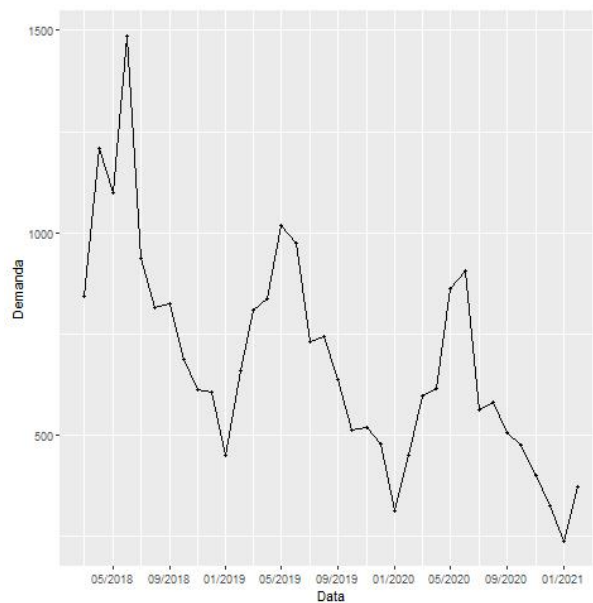


Figura 25: Histórico do produto MO1401 em São Paulo

A Figura 26 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

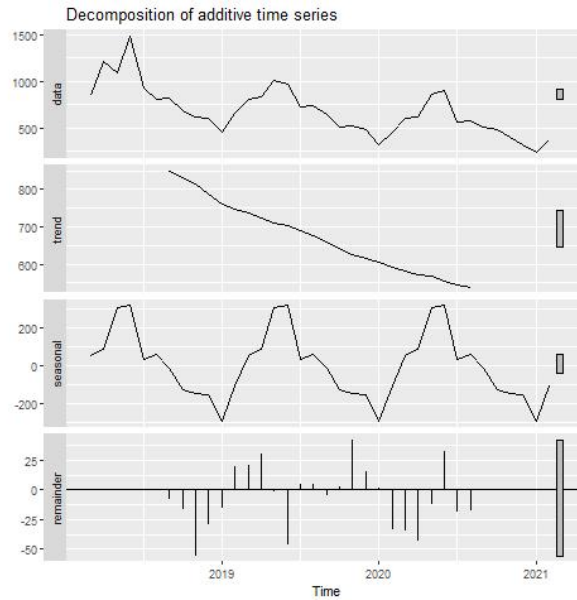


Figura 26: Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	5.75	7.73	6.43

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 27 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

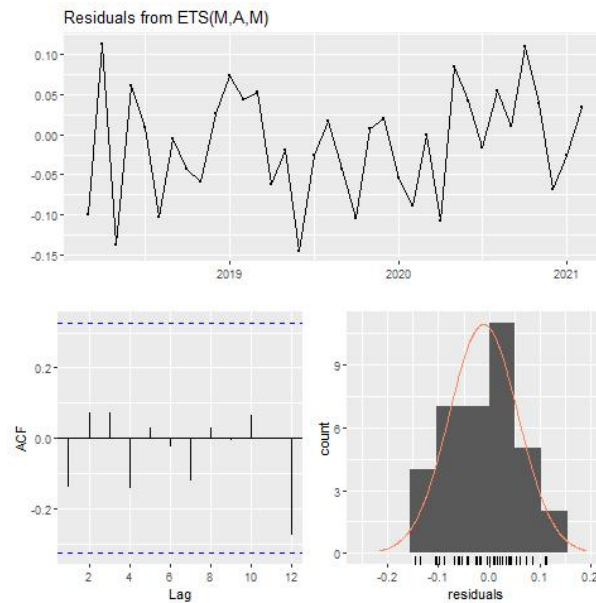


Figura 27: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo

A Tabela 14 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 14: Previsão de demanda do produto MO1401 para São Paulo

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
431.94	493.07	565.47	612.52	396.51	379.52	339.67	286.75	253.18	224.73

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 28.



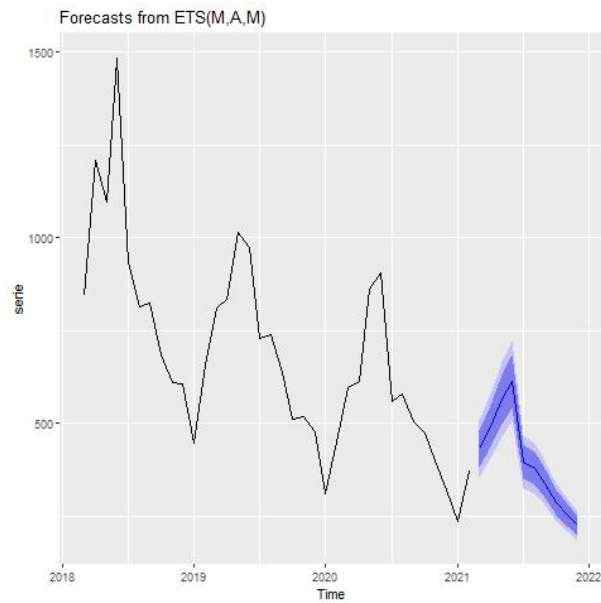


Figura 28: Previsão para o produto MO1401 em São Paulo

#### 4.3.2 Centro de Tocantins

A Figura 29 apresenta o histórico de vendas para este centro.

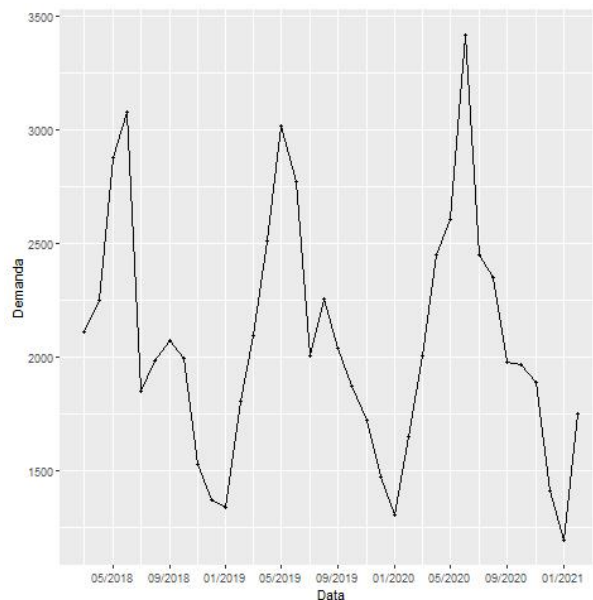


Figura 29: Histórico do produto MO1401 em Tocantins

A Figura 30 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência positiva (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

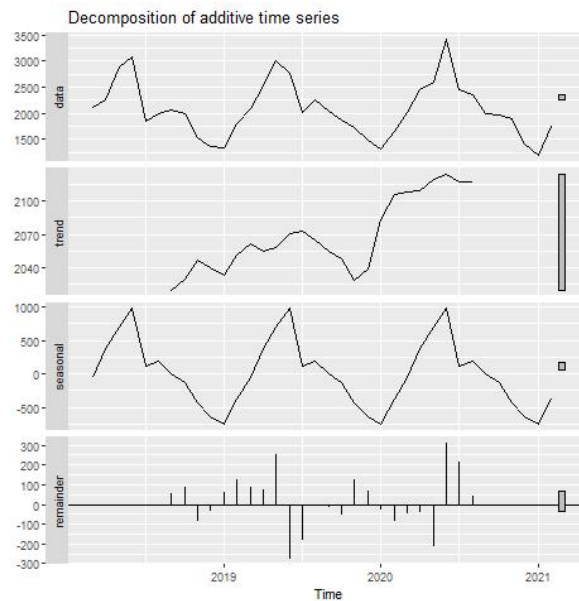


Figura 30: Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	5.16	5.15	5.27

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o ARIMA. Por outro lado, a Figura 27 apresenta a análise de resíduos que apresenta uma inconsistência no parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostrando um valor que apresenta autocorrelação (uma das linhas pretas extrapola os limites em azul). Como a extrapolação é pequena e não apresenta grandes perdas ela será desconsiderada, uma vez que como esperado os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa e os erros apresentam uma característica normal.

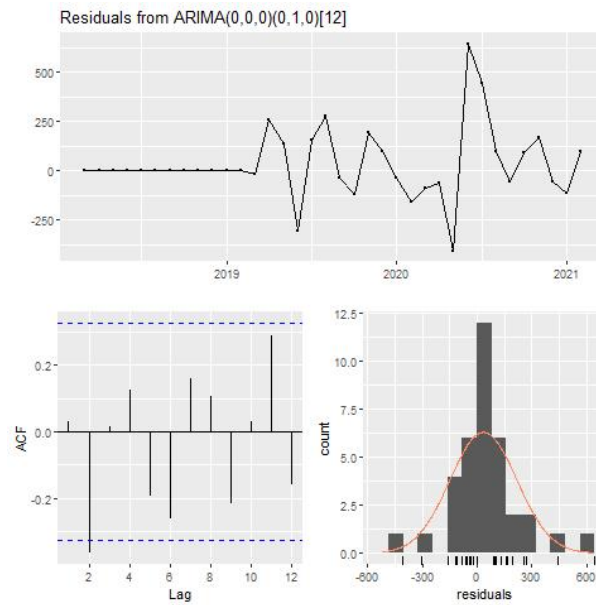


Figura 31: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins

A Tabela 16 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 16: Previsão de demanda do produto MO1401 para Tocantins

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
2006.4	2448	2606.4	3417.6	2448	2352	1977.6	1963.2	1886.4	1411.2

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 32.

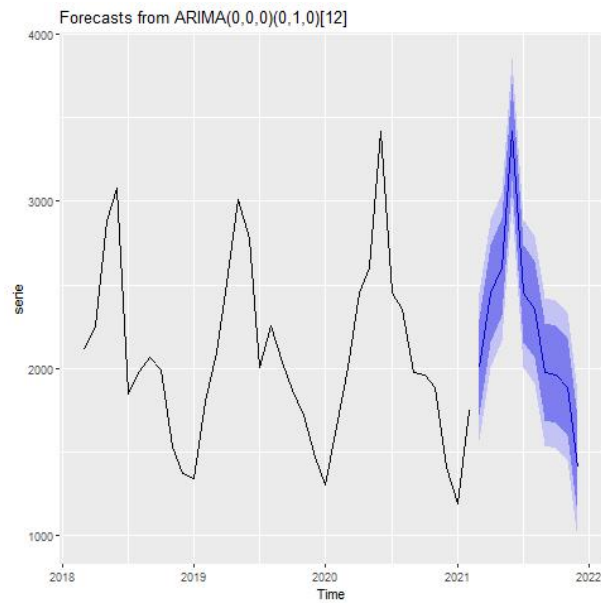


Figura 32: Previsão para o produto MO1401 em Tocantins

#### 4.3.3 Centro do Amazonas

A Figura 33 apresenta o histórico de vendas para este centro.

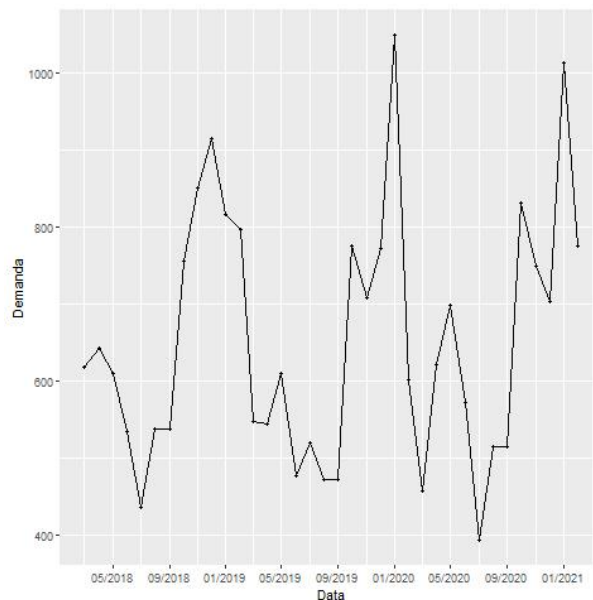


Figura 33: Histórico do produto MO1401 no Amazonas

A Figura 34 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência aparentemente linear (nem queda nem aumento na demanda), com uma sazonalidade bastante clara. De fato a

tendência se apresenta linear nos últimos meses, mas se recupera de uma tendência de queda no ano de 2019.

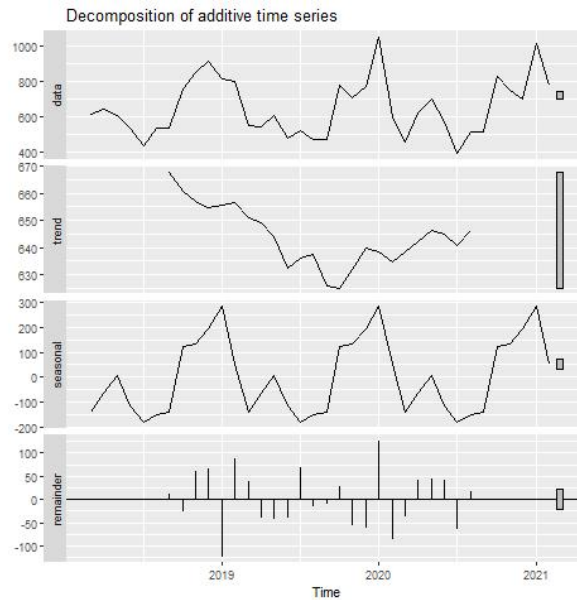


Figura 34: Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Comparação entre os modelos

Método	SE	ARIMA	RNA
MAPE	8.06	9.44	5.75

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 35 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

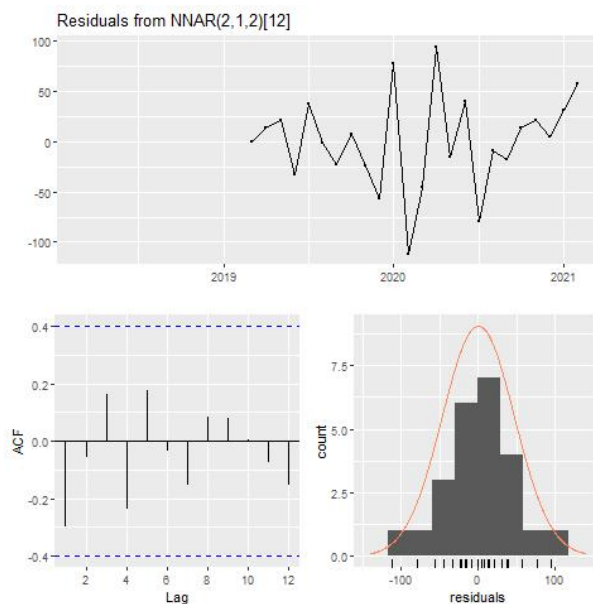


Figura 35: Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas

A Tabela 18 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 18: Previsão de demanda do produto MO1401 para Amazonas

03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21
451.96	539.03	891.7	713.37	406.88	537.24	593.62	1104.93	677.34	522.84

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 36.

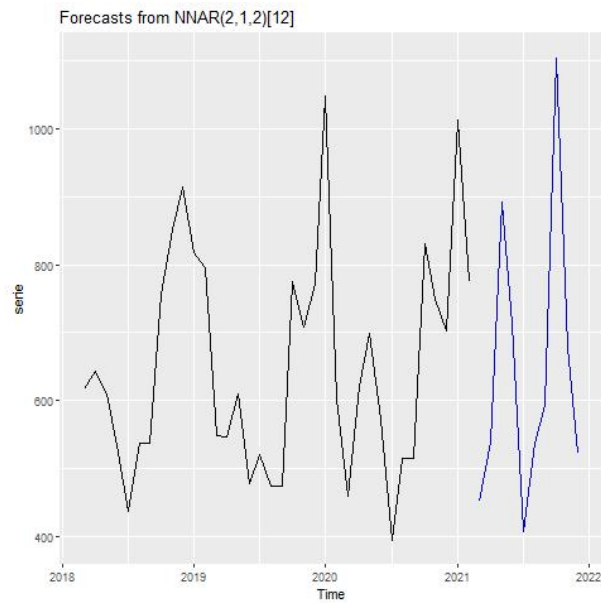


Figura 36: Previsão para o produto MO1401 no Amazonas

#### 4.4 Resultado Final

A Tabela 19 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO0021.

Tabela 19: Previsão de demanda final para o produto MO0021

Data	São Paulo	Tocantins	Amazonas
03/21	265.82	1529.16	910.99
04/21	231.47	1154.44	1030.59
05/21	228.68	1087.16	1414.69
06/21	240.97	1100.13	1281.29
07/21	211.92	599.70	1053.59
08/21	203.22	864.91	768.39
09/21	188.37	897.91	959.29
10/21	186.82	947.19	910.99
11/21	221.32	1103.71	881.09
12/21	259.74	1175.16	759.19

A Tabela 19 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO0091.

Por fim, a Tabela 21 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO1401.

Tabela 20: Previsão de demanda final para o produto MO0091

Data	São Paulo	Tocantins	Amazonas
03/21	1707.47	1129.11	857.01
04/21	1805.21	974.03	1132.82
05/21	1935.46	1061.11	1214.56
06/21	1635.11	1592.61	1231.73
07/21	1748.74	1359.40	852.98
08/21	1789.52	1285.07	760.45
09/21	1749.05	1587.77	839.24
10/21	1884.46	1088.80	873.10
11/21	1749.41	984.45	717.42
12/21	1778.59	980.72	763.12

Tabela 21: Previsão de demanda final para o produto MO1401

Data	São Paulo	Tocantins	Amazonas
03/21	431.94	2006.4	451.96
04/21	493.07	2448.0	539.03
05/21	565.47	2606.4	891.70
06/21	612.52	3417.6	713.37
07/21	396.51	2448.0	406.88
08/21	379.52	2352.0	537.24
09/21	339.67	1977.6	593.62
10/21	286.75	1963.2	1104.93
11/21	253.18	1886.4	677.34
12/21	224.73	1411.2	522.84



## 5 Centro de Distribuição

Nessa seção será definida a localização do Centro de Distribuição.

### 5.1 Modelagem Matemática

A função objetivo para a definição do centro de distribuição será de minimizar os custos totais.

$$\min Z = c_{tr} + c_{es} + c_{lo} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$c_{tr} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N ct_{i,j} \quad (2)$$

Onde (1) corresponde à função objetivo que visa minimizar o custo total  $Z$ , sendo esse a soma do Custo de Transporte ( $c_{tr}$ ), Custo de Estocagem ( $c_{es}$ ) e Custo de Localização ( $c_{lo}$ )

## 6 Conclusão