

# Simulação de Movimentação de Carga do Superporto de Rio Grande

<sup>1</sup>Elísio Bender de Leon elisioleon@gmail.com *Mestre em Modelagem Computacional pela FURG.*

**Abstract**— This paper presents a simulation of cargo handling in city of Rio Grande’s Superporto, in the state of Rio Grande do Sul, in order to identify the increased movement of ships, and their consequences to the Superporto. Based on actual data provided by the Port of Rio Grande (SUPRG) using GIS and NetLogo, a simulation tool based on multi-agents.

The simulated data is from 2012 to 2016, and were compared with actual data from SUPRG. From the results obtained, it was identified the relationship between the variation of the economy growth in the state of Rio Grande do Sul, and the variation of cargo handling in the Superport. Based on this simulation it was generated a new simulation for the new period of 2017 to 2021 of cargo handling in the Superport, which was compared with the estimation of GDP growth for the state over the same period.

Based on the simulation of cargo handling in Superporto for the period of 2017 to 2021, it was identified an increase of 14% in cargo handling, but no increase in ship circulation. This is justified by the global trend of increased cargo vessels capacity leading to fewer vessels carrying bigger loads. In addition, it was identified an increased time for loading and unloading terminals, and infrastructure investment opportunities that enable gradual monitoring of the growth of Superporto’s region, and rail-road needed resources to follow the increased movement of ships and their consequences to the Superporto.

**Index Terms**— Simulation, Port, Cargo handling, NetLogo, GIS.

## I. INTRODUÇÃO

A complexidade dos problemas enfrentados nos tempos atuais da humanidade, em áreas diversas da sociedade, como mobilidade urbana, problemas climáticos, como enchentes e ocupação urbana, resultando em desmatamentos e desequilíbrios ambientais são alguns exemplos onde é possível a aplicação da modelagem computacional, onde a interdisciplinaridade se faz presente.

O aumento da movimentação de cargas no Superporto de 2012 até 2016, de 27.700.000 toneladas até mais de 41.300.000 toneladas [SUPRG, 2016] foi à inspiração para simular navios de cargas do Superporto que estão em área de fundeio (área de espera).

Identificando o aumento da circulação de navios e suas consequências sobre o Superporto para os próximos anos, será possível explorar possíveis soluções no sentido de agilizar o processo de carga e descarga nos terminais do Superporto, evitando assim, que o aumento de navios da circulação venha a se tornar o “gargalo” no processo de movimentação de cargas no Superporto de Rio Grande.

Esse trabalho propõe a modelagem computacional da movimentação de cargas do Superporto de Rio Grande, para identificar o aumento da circulação de navios, utilizando

geoprocessamento e simulação baseada em multiagentes com a ferramenta NetLogo.

A simulação primeiramente será dos anos de 2012 a 2016 possibilitando uma análise comparativa com os dados reais da Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG) e depois gerar uma estimativa da movimentação de cargas do Superporto, simulando os anos de 2017 a 2021, permitindo assim uma análise futura. Foi identificada uma relação direta entre a movimentação de cargas do Superporto e a economia do Rio Grande do Sul, conforme simulação do período de 2012 a 2016 gerou dados semelhantes à estimativa do crescimento do PIB-RS sobre o mesmo período, possibilitando uma análise dos dados de uma forma mais confiável. A metodologia utilizada nesse trabalho foi a de multiagentes, desenvolvido na ferramenta NetLogo, com interpretação de imagem geoprocessada do Complexo Portuário de Rio Grande. Para cada ano simulado existe a quantidade específica de agentes navios para cada terminal, baseado nessa regra foi utilizado como parametrização da simulação, o tempo de paradas em terminais do Superporto, conforme dados fornecidos pela Superintendência do Porto de Rio Grande [SUPRG, 2016]. Os agentes são classificados por tipo de navios, onde navios que entram no Superporto só podem parar no terminal específico.

## II. SUPERPORTO DE RIO GRANDE

O Superporto da cidade de Rio Grande localiza-se no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O Superporto de Rio Grande dispõe de uma área de expansão junto ao canal de acesso ao porto, onde estão localizados os terminais especializados para granéis sólidos, granéis líquidos e contêineres, com 12,19 metros de profundidade. Com extensão de 10 km paralelos ao canal de Rio Grande e ocupa uma área de 1.868 ha junto ao Distrito Industrial [SUPRG, 2011].

O Superporto está situado dentro do complexo industrial-portuário da cidade de Rio Grande, onde também existem: o Porto Velho, o Porto Novo e o Porto de São José do Norte, áreas que não pertencem a esse estudo.

O Superporto é dividido em zonas, conforme Fig. 1. Contudo esse trabalho de simulação da movimentação de cargas do Superporto terá seu foco apenas nos terminais portuários: BRASKEN - Terminal Petroleiro, PIER - Terminal Petroleiro, YARA - Terminal de Graneis, BNGE Fertilizantes - Terminal de Graneis, Estaleiro Rio Grande, BUNGE - Terminal de Graneis, BIANCHINI - Terminal de Graneis, TERGRASA - Terminal de Graneis, TERMASA - Terminal de Graneis e TECON - Terminal de Containers [SUPRG, 2011].

<sup>1</sup> E. Leon. Instituto Federal Sul-rio-grandense, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. elisioleon@gmail.com

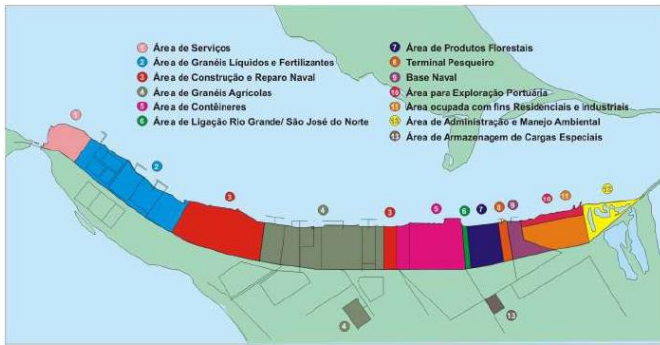


Fig. 1. Zona portuária do Superporto.

III. FLUXO DO PROCESSO DE CHEGADA E SAÍDA DE NAVIOS AO SUPERPORTO DE RIO GRANDE

A empresa interessada em carregar ou descarregar mercadorias no Superporto de Rio Grande, deve passar por um fluxo, envolvendo etapas, conforme regras estabelecidas pelo Conselho de Autoridade Portuária do Porto de Rio Grande (CAP/RG), pertencente à Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG). Abaixo um resumo desse fluxo, conforme Fig. 2. [CAP/RG, 2009].

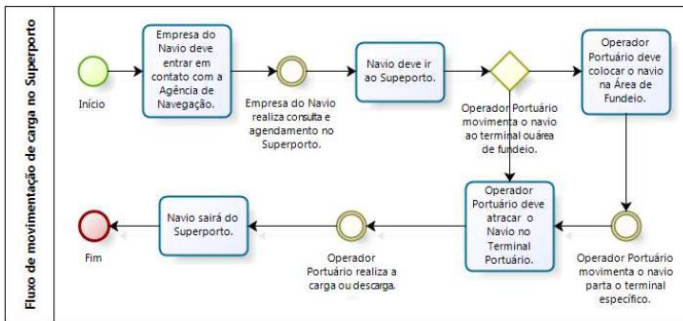


Fig. 2. Fluxo resumido da movimentação de carga no Superporto.

- Para a empresa solicitante enviar o navio ao Superporto, é necessário entrar em contato com alguma Agência de Navegação credenciada na SUPRG.
- A empresa escolhe uma Operadora Portuária credenciada na SUPRG para a realização do serviço de atracamento, desatracamento, envio à área de fundeio e movimentação de carga do navio (carregar e/ou descarregar).
- A Agência de Navegação realiza o agendamento na SUPRG e no terminal desejado.
- Quando o navio chega na foz da Laguna dos Patos, em alto mar, aguarda o funcionário prático da operadora portuária assumir o comando do navio que será levado para a área de fundeio ou atracado no terminal agendado.
- O navio recebe auxílio de rebocadores da operadora portuária quando necessário.
- A operadora portuária realiza a movimentação de carga no navio.
- Após a conclusão da movimentação de carga, o navio é levado novamente pelo prático para fora da área do

canal do porto e o comandante do navio assume o comando, finalizando o fluxo de movimentação de carga no Superporto.

IV. REGRAS IMPORTANTES DO CAP/RG PARA SIMULAÇÃO

Foram selecionadas Regras do Conselho de Autoridade Portuária do Porto de Rio Grande (CAP/RG), de 18 de agosto de 2009 relevantes a esse trabalho de simulação de movimentação de carga do Superporto de 2012 a 2016. Regras que influenciaram na Simulação, bem como no entendimento do fluxo de todo o trabalho de movimentação de carga no Superporto [CAP/RG, 2009] são elas:

- As áreas de espera, destinadas às embarcações que chegam ao Porto de Rio Grande, as quais aguardam autorização de fundeio nas áreas internas ou atracação em cais determinado, localizam-se em águas seguras fora da barra.
- As mercadorias em trânsito são incluídas na quantidade de movimentação de carga da Simulação, conforme Art. 91.

V. SIMULAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS DO SUPERPORTO DE RIO GRANDE

A proposta desse trabalho foi realizar a simulação da movimentação de carga do Superporto de Rio Grande. Essa simulação se baseia em dados reais da movimentação de cargas fornecidos pela Superintendência do Porto de Rio Grande de 2012 a 2016. Foram gerados dados simulados também para os anos de 2017 a 2021. Para o desenvolvimento da simulação, foi utilizada a ferramenta de simulação multiagentes NetLogo [NetLogo, 2012].

A Simulação foi desenvolvida através de um script criado na ferramenta NetLogo, utilizando-se de uma imagem de geoprocessamento da região da foz da Laguna dos Patos, onde encontra-se o Superporto de Rio Grande.

VI. METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia utilizada para esse trabalho foi a utilização de multiagentes, com a ferramenta NetLogo, sobre interpretação de imagem geoprocessada, para modelar a circulação de navios e suas consequências sobre o Superporto, foi utilizado como parametrização da simulação, tempos de paradas em terminais do Superporto, com dados fornecidos pela Superintendência do Porto de Rio Grande [SUPRG, 2012].

Nesse estudo não foi considerado o período médio de bloqueio de acesso ao Superporto, por motivos de mau tempo, acidentes com navios/cargas, manutenção de terminais, berços, calados. Não foi considerado o período das operações de abastecimento das embarcações e os terminais a serem estudados foram somente os terminais apresentados na TABELA I.

TABELA I  
TERMINAIS PRIVADOS, E SEUS BERÇOS [SUPRG, 2016].

Terminal	Berço
----------	-------

Bianchini	Berço Barcaça Berço Navio
BRASKEM	Berço 1
Estaleiro Rio Grande	Berço 1
Pier	Berço Barcaça Berço Norte Berço Sul
Tergrasa	Cais de Barcaça – Berço Norte Cais de Barcaça – Berço Sul Cais de Navio – Berço Sul Cais de Navio – Berço Sul
Termasa	Berço Barcaça Berço Navio
Terminal Bunge	Berço Norte Berço Sul
Yara Fertilizantes	Berço de Navio 1 Norte Berço de Navio 2 Sul Berço de Barcaça 4 Berço de Barcaça 5

Foram considerados para simulação os terminais do Superporto e suas médias de fundeio por dia e horas, além da média de atracação dos navios por dia e horas, conforme Tabela II [SUPRG, 2012 a 2016].

TABELA II  
SUPRG, 2012 A 2016.

Terminal	Comp. (m)	Profun. (pés)	Média de Fundeio (dias e horas)	Média de atracado (dias e horas)
Petrobras	318	33	1d 1:49hs	1d 10:52hs
Estaleiro Rio Grande	-	-	2:46hs	2d 23:18hs
YARA	360	40	1d 14:09hs	2d 18:48hs
Bunge Fertilizantes	412	40	2d 2:06hs	3d 1:19hs
Bunge Graneis	-	-	1d 18:3hs	2d 10:24hs
BRASKEN	-	-	7:03hs	23:57hs
Bianchini	300	40	1d 8:00hs	1d 0:06hs
Tergrasa	-	-	1d 00:34hs	2d 11:33hs
Termasa	200	42	2d 0:42hs	2d 18:01hs
TECON	600	40	9:41hs	14:42hs

Entre os anos de 2012 a 2016, em média circularam 2.944 navios por ano. Os navios que circularam nesses terminais do Superporto foram do tipo de carga: Full Container, Tanque, Graneleiro, Carga Geral, Barcaça Tanque e Barcaça Graneleiro. A média de movimentação de carga de contêineres nesse período foi de 685.747 TEUs e de movimentação de carga geral foi de 34.912.547 toneladas [SUPRG, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016].

VII. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA NETLOGO

A. Hardware utilizado na Simulação

Para essa simulação foi utilizado hardware com a seguinte configuração:

- Foi executada a ferramenta NetLogo em um computador com:
  - Sistema operacional Windows 7 de 64 Bits.

- Processador Intel Core I5-2410M, com 2.30GHz.
- Memória RAM de 4GB.

As simulações com essa configuração de hardware levaram em média 2 horas para cada ano simulado (365 dias simulados), realizado na ferramenta NetLogo versão 5.0.1.

A ferramenta NetLogo é um aplicativo desenvolvido na tecnologia Java. Para uma execução adequada da simulação foi necessário alocar memória para a máquina virtual Java (JVM), proporcionando adequada funcionalidade para a ferramenta NetLogo. Para essa alocação de memória foi utilizada a seguinte linha de comando em ambiente Prompt-DOS:

```
java -XX:MaxPermSize=512m -Xmx2048m -Dfile.encoding=UTF-8 -jar NetLogo.jar
```

B. Roteiro da Simulação

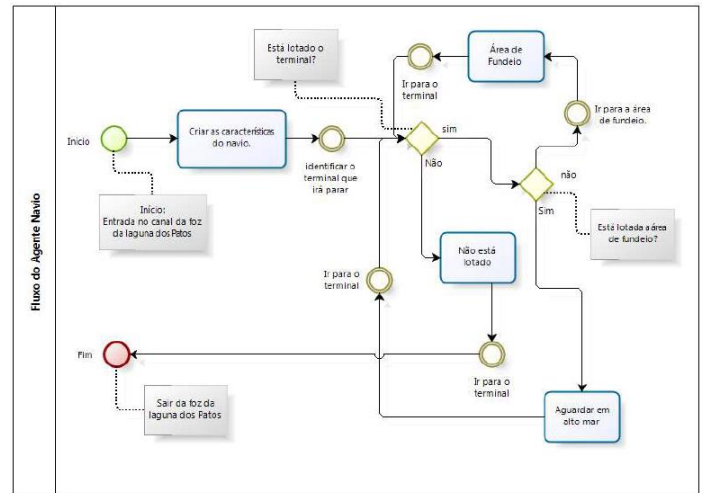


Fig. 3. Agente com suas regras de entrada e saída implementadas no NetLogo.

Conforme Fig. 3 os agentes (navios) se orientam sobre imagem de satélite geoprocessada, com regras de paradas em terminais com tempos específicos e paradas em área de fundeio [SUPRG, 2012].

No início da simulação os navios vêm do alto mar, seguindo o percurso interpretando uma imagem geoprocessada até os terminais ou área de fundeio, realizando a tarefa de carga ou descarga e retornando para alto mar.

O modelo utilizado para a criação de navios na simulação foi baseado nos dados estatísticos da SUPRG [SUPRG, 2012], por exemplo: nos dados estatísticos da SUPRG para o ano de 2012, o terminal Petroleiro recebeu um total de 93 navios. Para a simulação no terminal Petroleiro chegar a um valor aproximado de 93 navios, no final de 2012 foi definido um tempo de espera de criação de navios para cada terminal. Dessa forma, a simulação alcançou um maior grau de realismo e foi possível identificar a quantidade de navios em área de fundeio, a quantidade de cargas e demais informações definidas na simulação. Dessa forma o agente navio criado seguiu as demais regras definidas pela simulação.

Os agentes navios possuem características, tais como: um número de identificação do mesmo na simulação, nome do

navio, quantidade de carga, tipo de carga, mercadoria, tipo cabotagem ou longo curso, classe e operação de carga e descarga. Todos os dados para as características são escolhidos aleatoriamente pelo NetLogo de dados reais fornecidos pelo setor de Estatísticas da Superintendência do Porto de Rio Grande [SUPRG, 2016], proporcionando maior realismo à simulação. Características do agente conforme regras estabelecidas pelo Conselho de Autoridade Portuária do Porto de Rio Grande.

Baseado nesse roteiro foram extraídos os dados: movimentação de cargas em geral, movimentação de carga de containers, total geral de movimentação de carga, total de navios que carregam containers, total de navios que carregam carga em geral, total de navios de cabotagem, total de navios de longo curso, para os anos de 2012 a 2016, possibilitando uma análise comparativa com os dados reais da SUPRG e logo após, simular os anos de 2017 a 2021. Esses dados puderam ser comparados com os dados fornecidos pelo setor de Estatísticas da Superintendência do Porto de Rio Grande sobre o mesmo período.

A ferramenta NetLogo, para essa simulação foi integrada com imagem geoprocessada da foz da Laguna do Patos, por toda a extensão do Complexo Portuário de Rio Grande, com ênfase no Superporto e seus terminais, por onde é o foco desse trabalho.

A Fig. 4 apresenta as etapas de implementação do modelo proposto. São elas:

- Dados reais, os dados foram adquiridos junto ao setor de estatística da Superintendência do Porto de Rio Grande.
- Mapas reais SIG. A imagem extraída da Internet de uso público para fins não comerciais e os arquivos lógicos de SIG, foram desenvolvidos especificamente para esse trabalho pelo próprio autor no software SPRING [SPRING, 2016].
- NetLogo, toda a lógica (modelagem do problema) e inserção dos mapas foram desenvolvidos na linguagem logo, a partir da ferramenta simulação multiagentes NetLogo, desenvolvido pelo próprio autor.
- Dados simulados: dados obtidos a partir da modelagem desenvolvida e feita análise comparativa com os dados reais, fornecidas pela SUPRG.

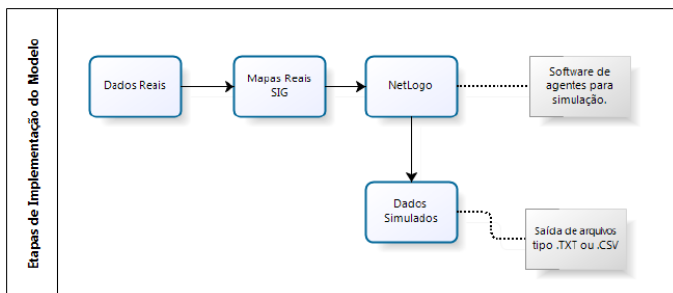


Fig. 4. Etapas de Implementação do Módulo.

### C. Características do Código Desenvolvido

Para utilização de geoprocessamento no NetLogo foi utilizada a biblioteca GIS: `extensions[gis]`. Esta

extensão adiciona suporte GIS (Sistemas de Informação Geográfica) para o NetLogo. Ele fornece a capacidade de carregar dados vetoriais GIS (pontos, linhas e polígonos) e matriciais de dados GIS (grades) em seu modelo. A extensão suporta dados vetoriais em forma de ESRI shapefiles. O arquivo shapefile (formato .shp) é o formato mais comum para armazenamento e troca de dados GIS vetoriais.

As imagens de geoprocessamento, são alimentadas pelo NetLogo através do método abaixo:

```

to read-gis-datasets
set perimeter-dataset gis:load-dataset
"dados/mapa.shp"
set paths-dataset gis:load-dataset
"dados/caminhos.shp"
end
  
```

A variável `perimeter-dataset` determina o retângulo de limite de todos os seus conjuntos de dados no espaço de GIS.

A variável `paths-dataset` trata-se do mapa propriamente dito, por onde o NetLogo se guiará para mover os seus agentes.

Os agentes são criados em `breed [ boats navio ]`

Foi adicionada uma imagem de satélite do fundo, para aumentar a percepção, pelo usuário sobre a área simulada através do método abaixo:

```

to imagem_fundo
let filename
"dados/site_superintendencia_1.png"
import-drawing filename
end
  
```

Foi adicionado ao código uma variável de ajuste fino de tempo de parada. Trata-se de um multiplicador sobre o tempo de parada nos terminais, como no exemplo do código a seguir:

```

to setup
set c 9
...
end
  
```

Essa constante multiplicadora, que serve de ajuste fino do tempo de espera, foi incluída no cálculo das paradas dos navios em cada terminal. Os terminais são identificados por `node` onde cada um recebe um número de identificação, como por exemplo `node 19`. Cada terminal possui um tempo extraído dos dados estatísticos fornecidos pela Superintendência do Porto de Rio Grande [SUPRG, 2016] e multiplicado pela constante `c`, que no método `to setup` recebeu o valor de 9 por exemplo. Dessa forma a constante `c`, influencia na variação de tempo de parada em cada terminal na Simulação. Os valores adicionados a constante `c` foram extraídos da relação entre Índice do Volume do Produto Interno Bruto, para o período de 2012 a 2016, conforme variação percentual de volume de produtos da Fundação de Economia e Estatística [FEE, 2016].

Os terminais do Superporto no código fonte foram identificados conforme a seguir:

```

TECON - Terminal de Containers
if terminal = "(node 19)" [ set tempo-
carga-descarga (14.71 * c) ]
TERGRASA - Terminal de Graneis
  
```

```

if terminal = "(node 20)" [ set tempo-
carga-descarga (59.22 * c) ]
  Estaleiro Rio Grande
if terminal = "(node 21)" [ set tempo-
carga-descarga (71.31 * c) ]
  Pier Terminal Petroleiro
if terminal = "(node 22)" [ set tempo-
carga-descarga (34.88 * c) ]
  BUNGE Fertilizantes - Terminal de Graneis
if terminal = "(node 28)" [ set tempo-
carga-descarga (73.32 * c) ]
  BRASKEN - Terminal Petroleiro
if terminal = "(node 24)" [ set tempo-
carga-descarga (23.96 * c) ]
  BIANCHINI - Terminal de Graneis
if terminal = "(node 25)" [ set tempo-
carga-descarga (24.10 * c) ]
  BUNGE - Terminal de Graneis
if terminal = "(node 26)" [ set tempo-
carga-descarga (58.41 * c) ]
  TERMASA - Terminal de Graneis
if terminal = "(node 27)" [ set tempo-
carga-descarga (66.02 * c) ]

```

Quando o navio retorna para o oceano é identificado através da linha de código abaixo e o agente navio é descartado da simulação com o comando `die`. `if area = "(node 0)" [ set reinicio reinicio + 1 die ]`

A área `node 0` é a de início do caminho que o navio deve fazer e retornar. `set reinicio reinicio + 1` é uma variável contadora, somatória de um em um, utilizada para reiniciar o processo de criar novos navios e dar continuidade na simulação até fechar o tempo de 365 dias.

As características dos navios são carregadas na variável `set Caracteristicas` e mostradas em tempo real na simulação.

Para essa simulação foram utilizados dados reais de navios (características) da SUPRG de cada ano simulado, selecionados aleatoriamente, conforme exemplo de linha de código abaixo:

```

set nome-navio random 4
if nome-navio = 0 [ set nome-navio "Navio
SANTA
GIULIETTA, Quantidade total de carga: 171
TEUs;" set
total_quantidade-carga-tecon
total_quantidade-carga-tecon +
171 set quantidade-carga-tecon 171]
if nome-navio = 1 [ set nome-navio "Navio
SCOUT,
Quantidade total de carga: 80 TEUs;" set
total_quantidadecarga-
tecon total_quantidade-carga-tecon + 80
set
quantidade-carga-tecon 80]
if nome-navio = 2 [ set nome-navio "Navio
RIO BLANCO,
Quantidade total de carga: 218 TEUs;" set
total_quantidadecarga-

```

```

tecon total_quantidade-carga-tecon + 218
set
quantidade-carga-tecon 218]
if nome-navio = 3 [ set nome-navio "Navio
LOG-IN
JACARANDÁ, Quantidade total de carga: 250
TEUs;" set
total_quantidade-carga-tecon
total_quantidade-carga-tecon +
250 set quantidade-carga-tecon 250]

```

#### *D. Características do Agentes Conforme Regras Estabelecidas pelo Conselho de Autoridade Portuária do Porto de Rio Grande*

O comportamento dos agentes foi definido pelo método `to move-navio`. O caminho é identificado com a variável `node`. Cada caminho possui um número de identificação chamado `node`, por onde o agente navio se movimenta. Para o Sistema identificar qual terminal o agente navio deve parar foi utilizada a variável `terminal`, conforme `if terminal = "(node 19)"`. Dessa forma, o agente navio sabe qual terminal ele deve parar. Após passar pela condição `terminal = "(node 19)"`, o Sistema incrementa a variável contador de lotação de navios no terminal, chamada `cont-navio`. Se a quantidade de navios atracados no terminal `node 19` for 3, então o navio é encaminhado para a área de fundeio através da chamada do método `set-next-navio-fundeio`, se `node 19` for menor que 3, então o navio vai para o próximo `node`, que é o atracamento do navio no terminal específico, através da chamada do método `set-next-navio-link`. Essa regra detalhada é apresentada no código abaixo.

```

to move-navio
if terminal = "(node 19)" [
set cont-navio cont-navio + 1
ifelse cont-navio < 3 [
set-next-navio-link]
[set-next-navio-fundeio]
end

```

Se o navio for enviado para a área de fundeio, é incrementada a variável `contnavio-fundeio`, que serve para identificar quando a área de fundeio encontra-se com a quantidade máxima de navios permitidos. Se a quantidade de navios for igual a 11, então o navio deve retornar para alto mar (fora da foz do canal da laguna dos Patos) e aguarda, através da chamada do método `set-next-navio-mar`, conforme código abaixo.

```

to set-next-navio-fundeio
set cont-navio-fundeio cont-navio + 1
ifelse cont-navio-fundeio < 11 [
set-next-navio-link]
[set-next-navio-mar]
end

```

Cada navio recebe em sua característica, qual terminal irá atracar, através da variável `terminal`.

E. Interface do Sistema Desenvolvido

A interface do NetLogo proporciona o ambiente de observação, em tempo real de todo o processo em execução da simulação, conforme Fig. 5, onde:

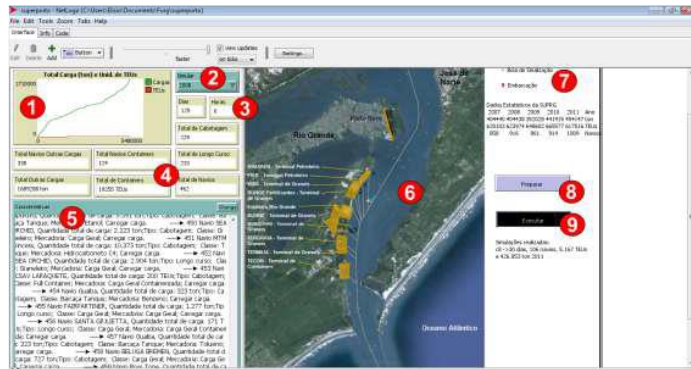


Fig. 5. Ambiente de simulação no NetLogo.

1. Gráfico da movimentação de carga em toneladas e movimentação de TEUs, conforme Fig. 9.
2. Escolher ano a ser simulado entre as opções: 2007 a 2016, conforme Fig. 9.
3. Marcação de dias e horas corridos na simulação, conforme Fig. 9.
4. Total de navios com outras cargas, total de navios contêineres, Total de movimentação de cargas em geral, total de movimentação de TEUs, total de navios de cabotagem, total de navios de longo curso, total geral de navios na simulação, conforme Fig. 9.
5. Conforme Fig. 10, características dos navios simulados, onde é informado:
  - a. Número dos navios no simulador;
  - b. Nome do navio;
  - c. Quantidade total de carga que o navio carrega em toneladas. Se o navio for de carga containerizada é expressa em TEUs.
  - d. Tipo de navegação: cabotagem ou de longo curso;
  - e. Classe do navio: Carga Geral, Tanque, Graneleiro, Petroleiro, Containers;
  - f. Mercadoria carregada;
  - g. Se o navio irá carregar ou descarregar no superporto. Lembrando que um navio poderá descarregar e carregar outra carga.
6. Área geoprocessada do Superporto, por onde os navios simulados circulam. Nessa imagem as áreas dos terminais do Superporto estão em destaque, em amarelo e com sua descrição à esquerda, conforme Fig. 5.
7. Legenda com boias de sinalização e ícone de embarcação, conforme Fig. 5.
8. Botão de preparar ambiente de simulação, conforme item de parametrização, conforme Fig. 5.

9. Botão de início da execução da simulação escolhida, conforme Fig. 5.

F. Regras da CAP/RG que não serão levadas em consideração nessa simulação

- Movimentação de navios no canal da foz da Laguna dos Patos para demais portos de Rio Grande, demais cidades que possuem porto e que seus navios necessitem transitar pelo Canal, como por exemplo, os portos das cidades de Pelotas e de Porto Alegre.
- O fechamento do Superporto por motivos meteorológicos.
- Períodos que o Superporto poderá estar fechado por situações de sinistro ou por situações ambientais.
- O trabalho dos rebocadores das operadoras portuárias e todo o tempo de atracamento necessário para ancorar o navio no berço estabelecido.
- As regras das prioridades de atracação, conforme Art.61, [CAP/RG, 2009].

VIII. ANÁLISE DOS DADOS

A. Dados Reais Obtidos

Dos terminais portuários privados especializados, que foram implantados a partir de 1970, no Porto Novo e no Superporto, verificou-se que, quatro entraram em operação nos anos setenta, estando as suas atividades relacionadas à expansão dos complexos agroindustriais e químicos do Rio Grande do Sul. Os terminais que foram implantados nos anos oitenta estão ligados respectivamente ao complexo químico (COPESUL), ao complexo agroindustrial (INCOBRASA) e à carga geral containerizada (TECON). O terminal da Bianchini, implantado nos anos noventa está ligado ao complexo agroindustrial. Isso demonstra que o projeto do Superporto de Rio Grande esteve e está diretamente relacionado ao desenvolvimento da economia primária e industrial do Rio Grande do Sul. Desta forma, estes terminais portuários foram de fato, implantados para atender a uma demanda crescente de serviços portuários exigidos pela expansão e diversificação das economias local e regional [Domingues, 1995].

TABELA III  
PRODUTO INTERNO BRUTO PER CAPITA E ÍNDICE DE VOLUME – 2012 A 2016.

Ano	Valor(R\$)	Índice de Volume	
		(2010=100)	Variação (%)
2012	287.587	126,7	-2,1
2013	332.293	137,5	8,5
2014	357.816	137,2	-0,3
2015	383.803	132,5	-3,4
2016	410.276	128,5	-3,1

Fonte: FEE, Centro de Informações Estatísticas, Núcleo de Contabilidade Social [FEE, 2016]. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais.

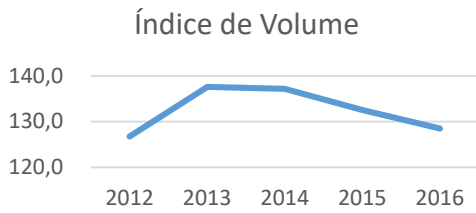


Fig. 6. Índice de Volume de 2012 a 2016.

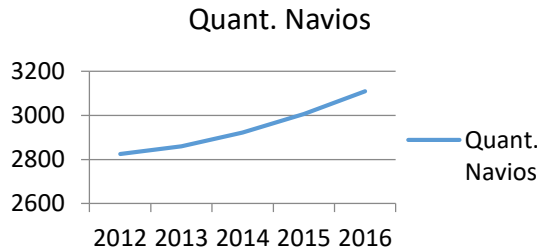


Fig. 7. Dados reais da quantidade de Navios no Superporto de 2012 a 2016.

Conforme Fig. 6, houve um aumento em 2012 e queda em 2014, se acentuando a queda nos anos seguintes, 2015 e 2016. Observou-se que na Fig. 7, o gráfico acompanhou os crescimentos dos anos de 2012 e 2013, mesmo padrão da Fig. 6. Nos demais anos de 2014 até 2016 o crescimento diminuiu, mas o aumento de quantidade de navios continuou a crescer, retardando o reflexo da economia na movimentação de cargas no Superporto. Identificando uma relação entre crescimento da economia do estado do Rio Grande do Sul e o aumento da movimentação de navios no Superporto.

Baseado na relação entre Índice do Volume do Produto Interno Bruto e a quantidade de navios no Superporto de Rio Grande, utilizou-se para parametrizar as simulações realizadas de 2012 a 2016, a variação percentual de volume de produtos da Fundação de Economia e Estatística [FEE, 2016] conforme TABELA III. Essa parametrização foi incluída no software, como uma variável global de ajuste fino para cada ano a ser simulado no método `to setup`, variável C.

O setor de estatística da Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), repassou 10 tabelas com todos os dados reais de 2012 a 2016, sendo 5 tabelas de dados do terminal TECON e 5 tabelas dos demais terminais privados do Superporto. As TABELA IV apresenta o resumo desses dados.

TABELA IV  
DADOS REAIS.

Ano	Geral	Carga	Quant. de Navios	Tempo
2012	TECON	611.282TEUs	2.825	365dias
	Carga Geral	10.026.896ton		
2013	TECON	626.382TEUs	2.860	365dias
	Carga Geral	14.087.996ton		
2014	TECON	678.765TEUs	2.922	365dias
	Carga Geral	13.872.280ton		
2015	TECON	726.781TEUs	1.432	365dias
	Carga Geral	16.814.394ton		
2016	TECON	284.905TEUs	1.282	365dias
	Carga Geral	6.391.357ton		

Conforme Fig. 8 foi identificado um aumento na movimentação de carga total nos terminais privados nos anos de 2012 e 2013, com um leve e moderado crescimento em 2014, acentuando mais ainda nos anos de 2015 e 2016, havendo uma recuperação no crescimento.

Total de movimentação de Cargas

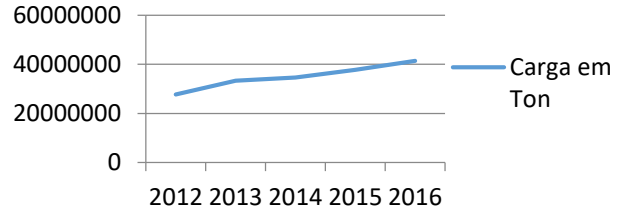


Fig. 8. Dados reais, total de movimentação de cargas nos terminais privados do Superporto no período de 2012 a 2017.

Conforme Fig. 9, houve uma estabilidade na quantidade de TEUs nos anos de 2012 e 2013, com um crescimento mais acentuado a partir do ano de 2014 até 2016.

Total de TEUs no TECON

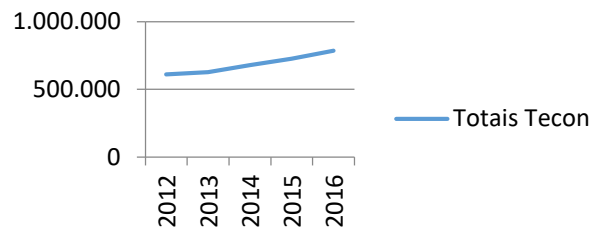


Fig. 9. Dados reais, total de TEUs no terminal TECON do Superporto no período de 2012 a 2016.

Conforme Fig. 10, houve um crescimento na quantidade de navios nos anos de 2012 e 2013, havendo um crescimento mais acentuado na quantidade de navios nos anos de 2014 até 2016.

Quant. Navios

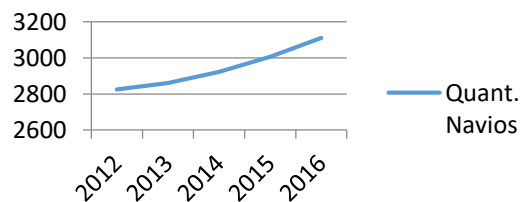


Fig. 10. Dados reais, quantidade total de navios no Superporto no período de 2012 a 2016.

B. Dados Simulados Obtidos

A seguir, são apresentados os dados simulados obtidos das simulações realizadas sobre os anos de 2012 a 2016, conforme TABELA V. Para esse período foram realizados 10 simulações para cada ano, em um total de 50 simulações.

TABELA V  
DADOS SIMULADOS.

Ano	Geral	Carga	Quant. de Navios	Tempo
2012	TECON	539.151	2.489	365dias
	Carga Geral	25.034.291		

2013	TECON	536.246	2.541	365dias
	Carga Geral	30.292.917		
2014	TECON	604.915	2.861	365dias
	Carga Geral	34.247.929		
2015	TECON	670.892	2.751	365dias
	Carga Geral	33.759.139		
2016	TECON	750.098	2.913	365dias
	Carga Geral	37.575.390		

C. Análise Comparativa entre Dados Reais e Dados Obtidos

A seguir, gráficos comparativos dos dados reais e dados simulados de 2012 a 2016, sobre a movimentação total de carga dos terminais privados, movimentação total de carga do terminal TECON e quantidade total de navios no Superporto.

Conforme Fig. 11, houve uma aproximação dos dados simulados com os dados reais. Nos dados reais, o total de movimentação de cargas nos terminais privados manteve-se estável entre os anos de 2012 a 2013, manteve-se estável no ano de 2015 e um leve crescimento em 2016. Nos dados simulados, houve uma sensível queda na movimentação de cargas totais nos terminais privados de 2012 a 2013, continuando essa queda no ano de 2014 e um crescimento nos anos de 2015 e 2016.

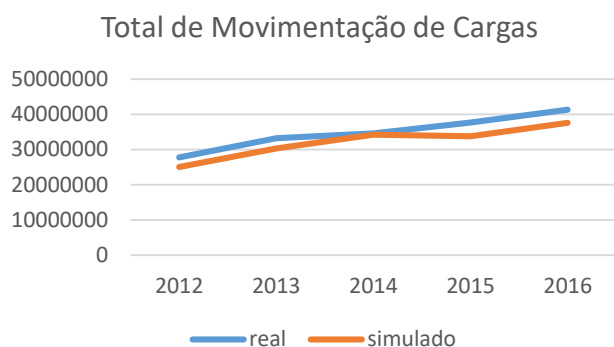


Fig. 11. Dados reais comparados com dados simulados, total de movimentação de cargas nos terminais privados do Superporto no período de 2012 a 2016.

Conforme Fig. 12, houve uma semelhança entre os dados reais e dados simulados significativos. Nos dados reais, houve um crescimento no total de TEUs do terminal TECON, a partir do ano de 2012 até 2015, resultando em uma queda no ano de 2016. O mesmo fenômeno foi observado nos dados de simulação. A partir dos anos de 2012 até o ano de 2015, um crescimento e queda acentuada no ano de 2016.

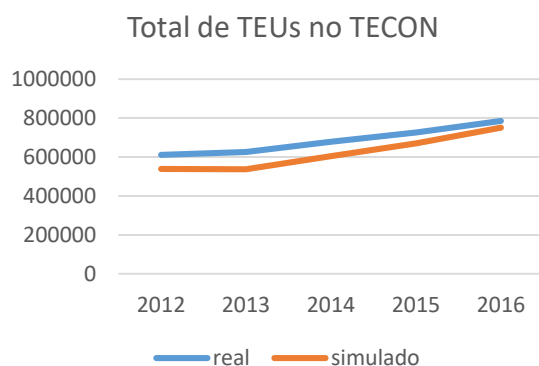


Fig. 12. Dados reais comparados com dados simulados, total de TEUs no terminal TECON do Superporto no período de 2012 a 2016.

Conforme Fig. 13, houve uma semelhança entre os dados reais e dados simulados. Nos dados reais, houve um pequeno aumento na quantidade de navios de 2012 a 2013, uma queda no ano de 2013 e um crescimento nos demais anos analisados, de 2014 a 2016. Nos dados simulados, houve um pequeno crescimento na quantidade de navios de 2012 a 2015 e em 2016, resultando um crescimento ainda maior.

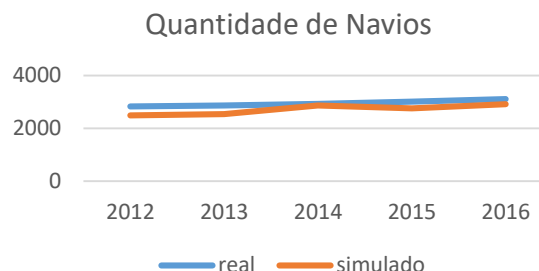


Fig. 13. Dados reais comparados com dados simulados, quantidade total de navios no Superporto no período de 2012 a 2016.

As tabelas comparativas de variação de taxa de erros encontradas entre os dados reais e dados simulados de 2012 a 2016, são apresentadas nas tabelas VI e VIII, mostrando o total de movimentação de carga no terminal em TEUs, total de movimentação de carga nos terminais privados e total de quantidade de navios no Superporto.

TABELA VI  
TAXA DE ERRO ENCONTRADA NA COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS COM DADOS SIMULADOS PARA TOTAL DE TEUS NO TECON.

	2012	2013	2014	2015	2016
Dados Reais	611.282	626.382	678.765	726.781	785.525
Dados Simul.	539.151	536.246	604.915	670.892	750.098
Taxa de Erro	-11,80%	-14,39%	-10,88%	-7,69%	-4,51%

TABELA VII  
TAXA DE ERRO ENCONTRADA NA COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS COM DADOS SIMULADOS PARA TOTAL DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA NOS TERMINAIS PRIVADOS.

	2012	2013	2014	2015	2016
Dados Reais	27744975	33248729	34576405	37669202	41323425
Dados Simul.	25034291	30292917	34247929	33759139	37575390
Taxa de Erro	-9,77%	-8,89%	-0,95%	-10,38%	-9,07%

TABELA VIII  
TAXA DE ERRO ENCONTRADA NA COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS COM DADOS SIMULADOS PARA QUANTIDADE TOTAL DE NAVIOS.

	2012	2013	2014	2015	2016
Dados Reais	2.825	2.860	2.922	3.007	3.110
Dados Simul.	2.489	2.541	2.861	2.751	2.913



Taxa de Erro	-11,89%	-11,14%	-2,09%	-8,53%	-6,34%
--------------	---------	---------	--------	--------	--------

Observou-se que a taxa de erro apresentada nas tabelas VI, VII e VIII, mantiveram-se em um percentual abaixo.

*D. Dados Simulados de 2017 à 2021*

Baseado nos dados gerados para o período de 2012 a 2016 realizou-se uma previsão de dados para o período de 2012 a 2016 através de simulações, sobre a movimentação de carga do Superporto. Para esse período foram realizados 10 simulações para cada ano, em um total de 50 simulações.

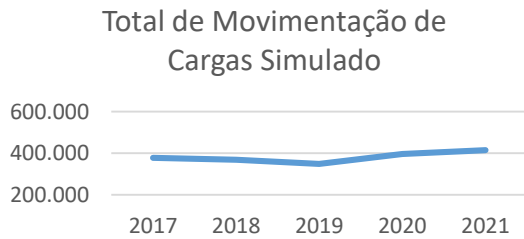


Fig. 14. Dados simulados do total de movimentação de cargas nos terminais privados do Superporto para o período de 2017 a 2021.

Conforme Fig. 14 foi observado na simulação, que houve um pequeno declínio de 2017 até 2019, um aumento acentuado nos anos de 2019 até 2020 e com um crescimento mais moderado em 2021.

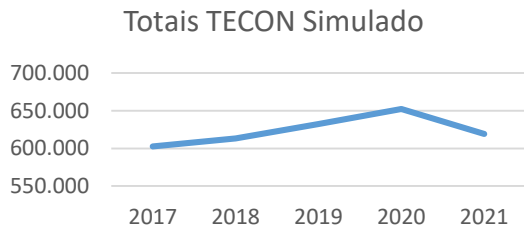


Fig. 15. Dados simulados do total de TEUs no terminal TECON do Superporto para o período de 2012 a 2016.

Conforme Fig. 15, observou-se um acentuado crescimento no total de TEUs no ano de 2017, 2018, 2019 e 2020, com uma queda acentuado no ano de 2021 na quantidade de TEUs.

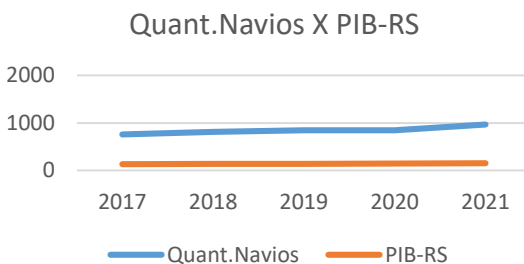


Fig. 16. Dados simulados da quantidade total de navios no Superporto, comparados com dados estimados do PIB-RS no período de 2017 a 2021.

Conforme Fig. 16, observou-se uma semelhança, uma aproximação dos dados simulados com os dados estimados do

PIB do estado do Rio Grande do Sul, para o período de 2017 a 2021. Nos dados estimados do PIB-RS, espera-se um pequeno crescimento dos anos de 2017 até 2021. Nos dados simulados, a quantidade de navios também apresentou uma constante e sensível crescimento no mesmo período de 2017 até 2021.

A TABELA IX apresenta os dados simulados obtidos das simulações realizadas sobre os anos de 2017 a 2021.

TABELA IX  
DADOS SIMULADOS DE 2017 A 2021.

Ano	Geral	Carga	Quant. de Navios	Tempo
2017	TECON	602.430	756	365dias
	Carga Geral	378.401		
2018	TECON	613.019	814	365dias
	Carga Geral	368.501		
2019	TECON	632.472	843	365dias
	Carga Geral	348.682		
2020	TECON	652.391	848	365dias
	Carga Geral	396.028		
2021	TECON	619.029	965	365dias
	Carga Geral	414.491		

*E. Análise dos Dados de 2017 à 2021*

Realizou-se uma análise comparativa entre perspectiva de crescimento da economia do Rio Grande do Sul de 2017 a 2021, em relação aos dados simulados de movimentação de carga do Superporto nesse mesmo período.

Conforme a Taxa de perspectiva do crescimento do PIB estadual (% ao ano), no estado do Rio Grande do Sul a média para os período de 2012 2016 foi de 6,6%, e de 2017 a 2021 será 3,2%. [FGV, 2014]. Baseado nessas informações foi montada a TABELA X para gerar os gráficos comparativos.

TABELA X  
TAXA DE PERSPECTIVA DO CRESCIMENTO DO PIB DO RS DE 2017 A 2021  
[FGV, 2014].

Ano	PIB-RS(% ano)
2017	3,2%
2018	3,2%
2019	3,2%
2020	3,2%
2021	3,2%

Para gerar os dados simulados na ferramenta NetLogo, foram utilizadas características dos navios de 2016, fornecidas pela SUPRG [SUPRG, 2016], 0,49% para os anos de 2012 a 2015 e 0,47% para o ano de 2016 [FGV, 2014], no parâmetro (varável de ajuste fino de tempo de parada), interferindo significativamente na movimentação de navios e cargas no Superporto.

```

De 2017 a 2021,
to setup
set c 0.32
...
end
    
```

Conforme Fig. 17, observou-se uma queda no total de movimentação de cargas simuladas de 2017 a 2019 e um acentuado crescimento nos anos de 2020 e 2021.

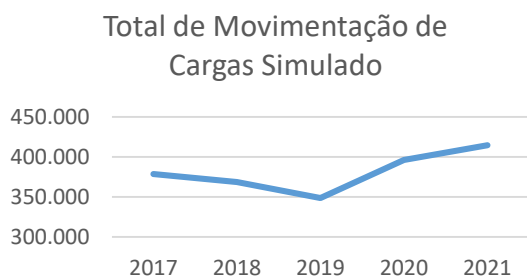


Fig. 17. Total simulados da movimentação de carga dos terminais privados de 2017 a 2021.

## IX. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou uma simulação da movimentação de cargas do Superporto da cidade de Rio Grande, do estado do Rio Grande do Sul, baseada em dados reais e dados estimados, para identificar o aumento da circulação de navios e suas consequências sobre o Superporto.

Pode-se comprovar a viabilidade da utilização da ferramenta NetLogo como meio de gerar dados de estimativas para a movimentação de carga do Superporto de Rio Grande.

Baseado na literatura pesquisada, o fato de coletar esses dados e gerar essa simulação é inédito para o domínio do problema desse trabalho, que é a movimentação de carga do Superporto de Rio Grande. Esse trabalho interdisciplinar envolveu a modelagem computacional, o entendimento de um tema bastante específico - movimentação de carga do Superporto - com o conhecimento de geoprocessamento e multiagentes, resultando em um trabalho diferenciado para identificar o aumento da circulação de navios e suas consequências sobre o Superporto.

A simulação dos dados de 2012 a 2016 mostrou-se compatível com dados reais. Analisando os dados do PIB-RS, como meio comparativo com os dados simulados de 2017 a 2021, verificou-se resultados satisfatórios, identificando um sensível crescimento de 2012 até 2015, 14% de aumento na movimentação de cargas, e uma pequena queda na movimentação de cargas no Superporto no ano de 2021. Sobre o período de 2017 até 2021, não foi identificado o aumento de navios no Superporto. Isso vai ao encontro da tendência mundial de aumentar a capacidade de cargas dos navios, propiciando que menos navios carreguem cada vez mais cargas.

A partir dessa análise de dados, podem-se identificar possíveis problemas, tais como: o aumento de tempo de navios nos terminais, que esse crescimento de 2017 a 2021 irá gerar na movimentação de cargas no Superporto, irá possibilitar investimentos antecipados na região, no sentido de minimizá-los.

Baseado nos dados de 2017 a 2020, onde estima-se um crescimento na taxa de 3,2%, verifica-se uma oportunidade de investimentos privados no Superporto.

## X. REFERÊNCIAS

[CAP/RG, 2009] Regras do Conselho de Autoridade Portuária do Porto de Rio Grande (CAP/RG). Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), Rio Grande, 2009.

[Domingues, 1995] Domingues, M. V. R. (1995). Superporto de Rio Grande: Plano e Realidade. Elementos para uma Discussão. UFRJ, Rio de Janeiro.

[FEE, 2016] FEE - Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul. Centro de Informações Estatísticas, Núcleo de Contabilidade Social. Disponível em <[www.fee.tche.br/](http://www.fee.tche.br/)> Acessado: 20/07/2016.

[FGV, 2014] DAPP, Estudos Estatísticos, DESENVOLVIMENTO E SUSTENTABILIDADE FISCAL O Rio Grande do Sul em 2022, vol. 2, 2014.

[NetLogo, 2012] Wilensky, U. NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL, USA. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. Acessado em: 01/12/2012.

[SPRING, 2016] SPRING, Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, 2016. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html)>. Acessado em: 01/06/2016.

[SUPRG, 2011] Superintendência do Porto de Rio Grande - Website. Disponível em <[www.portoriogrande.com.br](http://www.portoriogrande.com.br)> Acessado: 15/08/2011.

[SUPRG, 2012] Superintendência do Porto de Rio Grande - DIFRA/DIPLAN - Setor de Estatística. Dados dos Terminais privados de 2007 a 2011.

[SUPRG, 2013] Superintendência do Porto de Rio Grande - DIFRA/DIPLAN - Setor de Estatística, 2013.

[SUPRG, 2014] Superintendência do Porto de Rio Grande - DIFRA/DIPLAN - Setor de Estatística, 2014.

[SUPRG, 2015] Superintendência do Porto de Rio Grande - DIFRA/DIPLAN - Setor de Estatística, 2015.

[SUPRG, 2016] Superintendência do Porto de Rio Grande - DIFRA/DIPLAN - Setor de Estatística, 2016.